

VŠB – Technické univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

Kogenerační jednotky malých výkonů  
Small power cogeneration units

## Zadání bakalářské práce

Student: **Patrik Maňák**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Kogenerační jednotky malých výkonů**  
**Small power cogeneration units**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Úvod do kombinované výroby elektřiny a tepla
2. Kogenerační jednotky malých výkonů dostupné na trhu
3. Analýza využitelnosti mikrokogeneračních systémů u vybraných typů zákazníků
4. Porovnání s konvenčními systémy dodávky tepla a elektřiny

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. Krbek, J.: Kogenerační jednotky, zřizování a provoz, Praha, 2007.
2. Dufka J.: Vytápění domů a bytů, Grada Publishing, 2.vydání, Praha, 2004.
3. Židek, J.: Palivové články pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla, Bakalářská práce, Ostrava, 2010
4. Štrbík, K.: Zdroj energie pro obytnou budovu na bázi palivočláňkové mikrokogenerační jednotky, Diplomová práce, Ostrava, 2016.
5. Reálný provoz mikrokogenerační jednotky [online], <<https://www.asb-portal.cz/tzb/energie/realny-provoz-mikrokogeneracni-jednotky>>
6. Novinky v oblasti vytápění představené na ISH 2015 [online], <<http://vytapieni.tzb-info.cz/12655-novinky-v-oblasti-vytapieni-predstavene-na-ish-2015>>
7. Viessmann uvedl na trh malou kogeneraci pro bytové domy [online], <<http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/8581-viessmann-uvedl-na-trh-malou-kogeneraci-pro-bytove-a-vetsi-rodinne-domy>>


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Moldřák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 30. 4. 2019



.....  
Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a ochotu při řešení dané problematiky.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá kombinovanou výrobou elektřiny a tepla v oblasti středních výkonů. První část obsahuje úvod do kombinované výroby elektřiny a tepla, druhy technologií pohonných jednotek, jejich základní popis a výhody či nevýhody. Druhá část obsahuje kogenerační jednotky dostupné na trhu, jejich základní parametry a popis. Další část se zaměřuje na využití dostupných kogeneračních jednotek u odběratelů střední velikosti. Poslední kapitola je věnovaná ekonomickému zhodnocení použitých kogeneračních jednotek.

## **Klíčová slova**

Kogenerace; kogenerační jednotka; teplo; elektrická energie; Gentec; Tedom; Viessmann; Motorgas

## **Abstract**

The bachelor thesis focuses on combined heat and power production in field of medium power. First part contains introduction to combined heat and power production, type of used technology, their basic description and advantages or disadvantages. Second part contains cogeneration units available on market, their basic parameters and description. The next part focuses on the use of available cogeneration units for medium-sized customers. The last part is devoted to economic evaluation of used cogeneration units.

## **Keywords**

Cogeneration; cogeneration unit; heat; electrical energy; Gentec; Tedom; Viessmann; Motorgas

## Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>Seznam ilustrací</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>Seznam tabulek</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>Úvod</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>1. Úvod do kombinované výroby elektřiny a tepla</b> .....                                | <b>12</b> |
| 1.1. Princip kombinované výroby elektřiny a tepla.....                                      | 12        |
| 1.2. Výhody kombinované výroby elektřiny a tepla.....                                       | 13        |
| 1.3. Využívané druhy kogeneračních technologií .....  | 13        |
| 1.3.1. Kogenerační jednotky se spalovacími motory .....                                     | 13        |
| 1.3.2. Kogenerační jednotky s využitím Stirlingova motoru.....                              | 14        |
| 1.3.3. Mikroturbíny .....   | 15        |
| 1.3.4. Zařízení využívající organický Rankinův cyklus (ORC).....                            | 16        |
| 1.3.5. Systém Talbott.....  | 17        |
| 1.3.6. Palivové články .....  | 17        |
| <b>2. Kogenerační jednotky malých výkonů dostupné na trhu</b> .....                         | <b>19</b> |
| 2.1. Viessmann .....  | 19        |
| 2.1.1. Produktová řada Vitobloc 200.....  | 19        |
| 2.1.2. Produktová řada Vitocalor 300-P .....  | 22        |
| 2.1.3. Produktová řada Vitotwin 300-W a Vitotwin 350-F .....                                | 23        |
| 2.2. Motorgas .....   | 23        |
| 2.2.1. Produktová řada MGM.....   | 23        |
| 2.2.2. Produktová řada MGJ.....   | 24        |
| 2.3. Tedom .....  | 24        |
| 2.3.1. Produktová řada Micro .....  | 24        |
| 2.3.2. Produktová řada Cento .....  | 24        |
| 2.4. Gentec .....   | 24        |
| 2.4.1. Produktová řada KE – MNG.....  | 25        |
| <b>3. Analýza využitelnosti mikrokogeneračních systémů u vybraných typů zákazníků</b> ..... | <b>26</b> |
| 3.1. Spotřeba tepla .....   | 26        |
| 3.1.1. Střední odborná škola .....  | 27        |
| 3.1.2. Zimní stadion .....  | 28        |
| 3.1.3. Hotel.....   | 29        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.1.4.    | Nemocnice.....  | 29        |
| 3.1.5.    | Galerie .....   | 30        |
| 3.1.6.    | Domov důchodců .....  | 31        |
| 3.2.      | Spotřeba elektrické energie .....                               | 31        |
| 3.2.1.    | Střední odborná škola .....                                     | 32        |
| 3.2.2.    | Zimní stadion .....   | 33        |
| 3.2.3.    | Hotel .....   | 33        |
| 3.2.4.    | Nemocnice.....  | 34        |
| 3.2.5.    | Galerie .....   | 34        |
| 3.2.6.    | Domov důchodců .....  | 35        |
| <b>4.</b> | <b>Porovnání s konvenčními dodávky elektřiny a tepla .....</b>  | <b>36</b> |
| 4.1.      | Cena plynu.....   | 36        |
| 4.2.      | Cena elektrické energie.....                                    | 37        |
| 4.3.      | Úspora primárního paliva při využití kogenerační jednotky ..... | 38        |
| 4.3.1.    | Plyn.....   | 38        |
| 4.3.2.    | Elektrická energie .....  | 39        |
| 4.4.      | Ekonomické zhodnocení .....                                     | 40        |
|           | <b>Závěr.....</b>   | <b>45</b> |
|           | <b>Použitá literatura.....</b>                                  | <b>46</b> |

## Seznam použitých symbolů a zkratk

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| KJ   | Kogenerační jednotka                 |
| CHP  | Combined Heat and Power              |
| KVET | Kombinovaná výroba elektřiny a tepla |
| TDD  | Typový diagram dodávky               |
| SOŠ  | Střední odborná škola                |
| SO   | Střední odběratel                    |
| OTE  | Operátor trhu                        |
| POZE | Podporované zdroje energie           |

|                  |      |                  |
|------------------|------|------------------|
| PT               | [W]  | Tepelný výkon    |
| Pe               | [W]  | Elektrický výkon |
| Q <sub>pal</sub> | [J]  | Uvolněné teplo   |
| Q <sub>t</sub>   | [Wh] | Spotřeba tepla   |



## Seznam ilustrací

|  |    |
|--|----|
| Obr 1.1. Princip kogenerace .....  | 12 |
| Obr 1.2. Kogenerace s plynovým motorem .....   | 14 |
| Obr 1.3. Schéma kogenerační jednotky se stirlingovým motorem .....   | 15 |
| Obr 1.4. Typy stirlingova motoru a) Alfa, b) Beta, c) Gama .....   | 15 |
| Obr 1.5. Rotační část mikroturbíny .....   | 16 |
| Obr 1.6. Schéma zařízení realizujícího ORC cyklus .....  | 16 |
| Obr 1.7. Schéma systému Talbott (1. kompresor, 2. vzduchová turbína, 3. kotel, 4. spotřebitel tepla, A. přívod paliva, G. generátor) [1] ..... | 17 |
| Obr 1.8. Schéma zařízení pro kogenerační využití palivových článků .....   | 18 |
| Obr 2.1. Produktový řez Vitobloc 200 EM-20/39 .....  | 19 |
| Obr 2.2. Produktový řez Vitobloc 200 EM-50/81 .....  | 20 |
| Obr 2.3. Produktový řez Vitobloc EM-140/207 .....  | 21 |
| Obr 2.4. Produktový řez Vitobloc 200 EM-199/263 .....  | 21 |
| Obr 2.5. Popis jednotlivých částí Vitovvalor 300-P .....   | 22 |
| Obr 2.6. Popis jednotlivých částí Vitotwin 350-F .....   | 23 |
| Obr 2.7. Popis jednotlivých částí Vitotwin 300-W .....   | 23 |
| Obr 3.1. Roční diagram trvání spotřeby tepla střední odborné školy a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek .....                       | 28 |
| Obr 3.2. Roční diagram trvání spotřeby tepla v areálu zimního stadionu návrh tří různých typů kogeneračních jednotek .....                     | 28 |
| Obr 3.3. Roční diagram trvání spotřeby tepla hotelu a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek .....                                      | 29 |
| Obr 3.4. Roční diagram trvání spotřeby tepla nemocnice a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek .....                                   | 30 |
| Obr 3.5. Návrh tří různých typů kogeneračních jednotek v galerii .....   | 30 |
| Obr 3.6. Roční diagram trvání spotřeby tepla domova důchodců a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek .....                             | 31 |
| Obr 3.7. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ ve střední odborné škole .....  | 32 |
| Obr 3.8. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v zimním stadionu .....   | 33 |
| Obr 3.9. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v hotelu .....  | 33 |
| Obr 3.10. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v nemocnici .....  | 34 |
| Obr 3.11. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v galerii .....  | 34 |
| Obr 3.12. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v domově důchodců .....  | 35 |
| Obr 4.1. Rozdělení ceny zemního plynu .....  | 36 |
| Obr 4.2. Rozdělení ceny elektrické energie .....   | 37 |
| Obr 4.3. Grafické znázornění prosté doby návratnosti investice různých typů KJ u 6 odběratelů střední velikosti .....                          | 43 |

## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tab. 2.1. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-20/39 při spalování zemního plynu a LPG .....  | 19 |
| Tab. 2.2. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-50/81 .....  | 20 |
| Tab. 2.3. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-70/115 .....   | 20 |
| Tab. 2.4. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-140/207 .....  | 21 |
| Tab. 2.5. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-199/263 .....  | 21 |
| Tab. 2.6. Technické parametry KJ Vitovalor 300-P.....   | 22 |
| Tab. 2.7. Technické parametry KJ Vitotwin 300-W a Vitotwin 350-F.....   | 23 |
| Tab. 2.8. Technické parametry KJ MGM 50 při spalování zemního plynu a bioplynu .....  | 24 |
| Tab. 2.9. Technické parametry KJ firmy TEDOM, řady micro při spalování na zemní plyn, bioplyn a LPG .....   | 24 |
| Tab. 2.10. Technické parametry KJ firmy Gentec při spalování zemního plynu a bioplynu.....  | 25 |
| Tab. 3.1. Měsíční a celkové hodnoty spotřeby plynu.....   | 27 |
| 3.2. Celkové vyrobené teplo KJ ve střední odborné škole .....   | 28 |
| Tab. 3.3. Celkové vyrobené teplo KJ v areálu zimního stadionu.....  | 29 |
| Tab. 3.4. Celkové vyrobené teplo KJ v hotelu .....  | 29 |
| 3.5. Celkové vyrobené teplo KJ v nemocnici.....   | 30 |
| Tab. 3.6. Celkové vyrobené teplo KJ v galerii.....  | 31 |
| Tab. 3.7. Celkové vyrobené teplo KJ v domově důchodců.....  | 31 |
| Tab. 3.8. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ ve střední odborné škole .....   | 32 |
| Tab. 3.9. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v zimním stadionu .....  | 33 |
| Tab. 3.10. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v hotelu .....  | 33 |
| Tab. 3.11. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v nemocnici .....   | 34 |
| Tab. 3.12. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v galerii.....  | 35 |
| Tab. 3.13. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v domově důchodců.....  | 35 |
| Tab. 4.1. Vyúčtování ceny plynu za rok 2018.....  | 36 |
| Tab. 4.2. Vyúčtování celkové ceny elektrické energie za rok 2018, včetně DPH .....  | 37 |
| Tab. 4.3. Roční úspora plynu s využitím různých typů KJ pro 6 odběratelů střední velikosti.....   | 38 |
| Tab. 4.4. Roční úspora elektrické energie s využitím různých typů KJ pro 6 odběratelů střední velikosti.....  | 39 |
| Tab. 4.5. Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny s celkovým výkonem kogeneračních jednotek do 5MWe včetně..... | 40 |
| Tab. 4.6. Doplnková sazba I k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET .....   | 40 |
| Tab. 4.7. Celková roční úspora s využitím různých typů KJ pro 6 odběratelů střední velikosti.....   | 41 |
| Tab. 4.8. Výpočet prosté doby návratnosti investice různých typů KJ u 6 odběratelů střední velikosti.....   | 42 |

## Úvod

S příchodem moderní elektroniky přichází i vyšší potřeba elektrické energie. Možným řešením je přechod z centralizované k decentralizované výrobě elektrické energie pomocí kogeneračních jednotek. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla podstatně zvyšuje účinnost přeměny energie a snižuje celkové ztráty. S přechodem k decentralizované výrobě snížíme ztráty vzniklé přenosem el. energie a tepla. Existuje mnoho druhů kogeneračních jednotek jako třeba s palivovými články, stirlingovým motorem či mikroturbíny. Nejčastější zastoupení mají však jednotky se zážehovým motorem spalující zemní plyn a bioplyn. Kogenerační jednotka je vhodná jak do rodinného domu, tak i do velkých průmyslových areálů. Při správném dimenzování a využití podpory jako je zelený bonus, může být pořízení kogenerační jednotky výhodná investice.

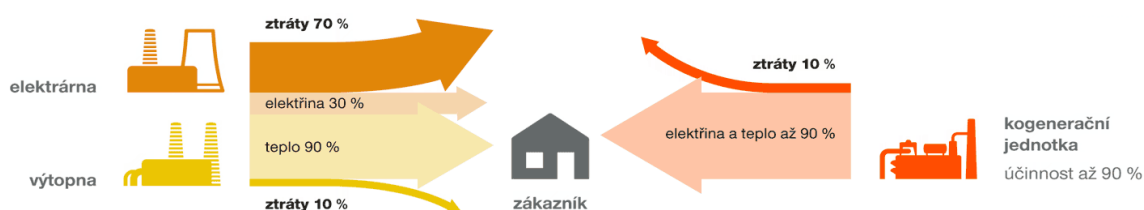
## 1. Úvod do kombinované výroby elektřiny a tepla

Elektrická a tepelná energie jsou různé druhy energie, které se liší možnostmi použití a jejich výroby. Elektrickou energii obecně považujeme za nejkvalitnější druh energie, protože ji můžeme s vysokou účinností přenášet na velké vzdálenosti a transformovat na jiný druh energie, jako například mechanickou nebo tepelnou. Ale abychom získali elektrickou energii musíme ji nejdříve vyrobit pomocí mechanické práce, kterou získáme uvolněním tepelné energie z primárních energetických zdrojů ve složitých a drahých elektrárenských zařízeních. Transformace se může uskutečnit v důsledku platnosti druhého zákona termodynamiky jen s jistou účinností. Podstatná část se pak bez užítu odvádí do atmosféry. Průměrná účinnost parních elektráren činí pouze kolem 33%, zbývající 67% uvolněné energie se odvádí do okolí elektráren. Nejdokonalejší paroplynová zařízení mohou dosahovat účinnosti až 55%. [1]

Tepelná energie je méně hodnotná energie, jelikož její přeměna na jiný druh energie je technicky obtížná a uskutečnit ji lze jen částečně. Ideálně se nabízí kombinovaná výroba elektrické energie a tepla, kdy můžeme využít dva systémy tzv. Horní a Dolní systém. U horního systému dochází nejdříve k výrobě tepelné energie o vysoké teplotě, ta je využívána k dalším technologickým procesům a až poté se transformuje v elektrických generátorech na elektrickou energii. U dolního systému dochází nejdříve k výrobě elektrické energie a teplo se získává z odváděného tepla tepelného oběhu. [9]

### 1.1. Princip kombinované výroby elektřiny a tepla

Kogenerace je sdružená výroba elektřiny a tepla. Proces přeměny energie z paliva je proveden tak, že nejprve se využije vysokopotenciální tepelná energie (pracovní látka má vysokou teplotu) k vykonání práce a teprve potom se pracovní látka o nižší teplotě využije pro pokrytí potřeb tepla. [1]



Obr. 1.1. Princip kogenerace [3]

Kogenerační jednotky mohou využívat mnoho druhů paliv přes zemní plyn, biomasu, uhlí, topné oleje až po různá biopaliva. Také technologie využitá pro kogenerační výrobu nabízí široký výběr, který je přitom úzce spjatý s požadovaným dodávaným výkonem. [8]

## 1.2. Výhody kombinované výroby elektřiny a tepla

Kogenerace má celou řadu výhod. Umístěním kogenerační jednotky do místa spotřeby snižujeme ztráty vzniklé přenosem v elektrizační síti a přecházíme z centralizované výroby tepla elektrické energie k decentralizované výrobě. Je mnohem šetrnější k životnímu prostředí a nedochází k velkému znečištění. Oproti oddělené výrobě tepla a elektrické energie dochází u kombinované výroby elektrické a tepelné energie k podstatnému zvýšení účinnosti primárního paliva.

## 1.3. Využívané druhy kogeneračních technologií

Každý kogenerační zdroj se skládá z těchto 4 základních částí:

- 1) Motoru (pohonné jednotky)
- 2) Elektrického alternátoru
- 3) Kotle nebo výměníků tepla
- 4) Kontrolního a řídicího systému

Jednotlivé kogenerační technologie dělíme zejména podle druhu pohonné jednotky, nejčastěji najdeme:

- Parní turbíny
- Spalovací turbíny
- Spalovací motory
- Paroplynová (kombinovaná) zařízení

U parní turbíny a paroplynových zařízení najdeme zejména využití u velkých teplárenských závodů, jelikož pro dosažení vysoké účinnosti je potřeba vysoká teplota vstupní páry. Nejčastější využití u kogeneračních jednotek malých výkonů najdeme spalovací motory jako pohonnou jednotku. To z důvodů snadné a široké regulace výkonu v závislosti na spotřebě elektrické a tepelné energie.

S vývojem se na trhu objevují nové druhy pohonných jednotek:

- Stirlingovy motory
- Mikroturbíny
- Zařízení využívající organický Rankinův cyklus (ORC)
- Systém talbott
- Parní motory

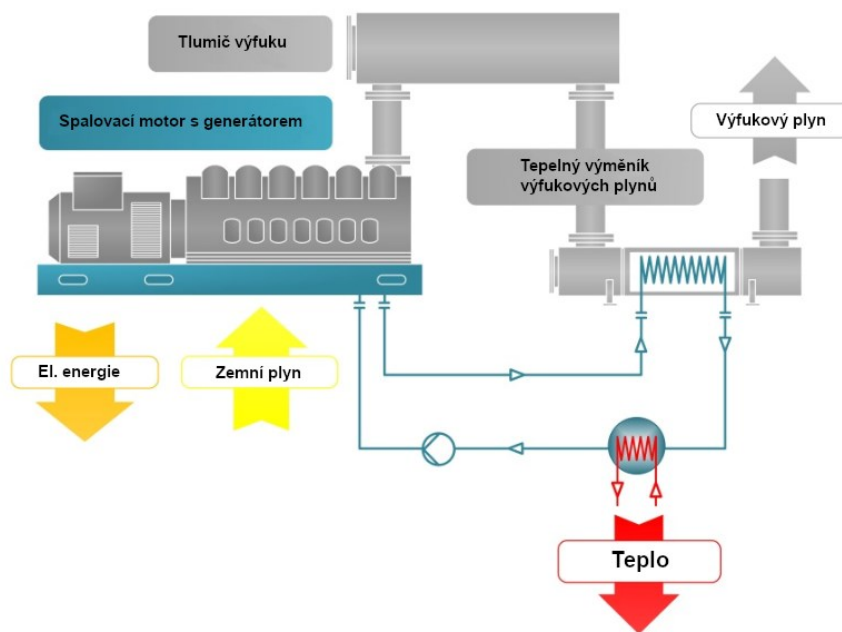
Všechny tyto pohonné jednotky jsou založeny na nepřímé přeměně energie. Nejdříve se z paliva uvolní tepelná energie pomocí termodynamických procesů, ta se následně transformuje na mechanickou práci, která pohání alternátor a ten ji mění na elektrickou energii.

U přímé přeměny elektrické energie se energie paliva transformuje přímo na elektrickou energii. Patří zde:

- Palivové články

### 1.3.1. Kogenerační jednotky se spalovacími motory

Využívá se vznětových nebo zážehových motorů upravených ke spalování zemního plynu nebo různých biopaliv.



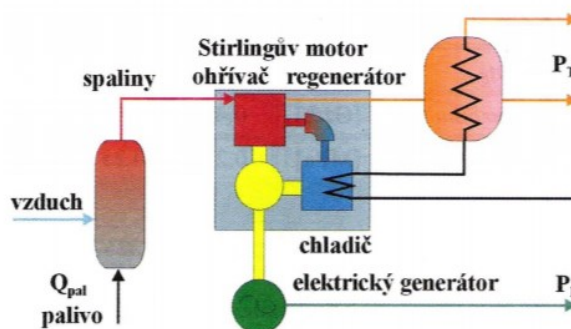
Obr. 1.2. Kogenerace s plynovým motorem

Motor pohánějící elektrický generátor produkuje současně odpadní teplo. Jedná se o teplo chlazení motoru (blok válců a hlava motoru), chlazení mazacího oleje a o teplo výfukových plynů. Chlazení oleje je prováděno pomocí vodního chladicího okruhu, z něhož je teplo odváděno topnou vodou. [1]

Tyto kogenerační jednotky se řadí do skupiny malých kogeneračních jednotek na zemní plyn či bioplyn s výkonem v rozmezí desítek kWe až jednotek MWe. Jedná se o jeden z nejběžnějších a zároveň nejefektivnějších způsobů kombinované výroby elektřiny a tepla. Celková účinnost využití paliva se u těchto jednotek pohybuje kolem 90%. [8]

### 1.3.2. Kogenerační jednotky s využitím Stirlingova motoru

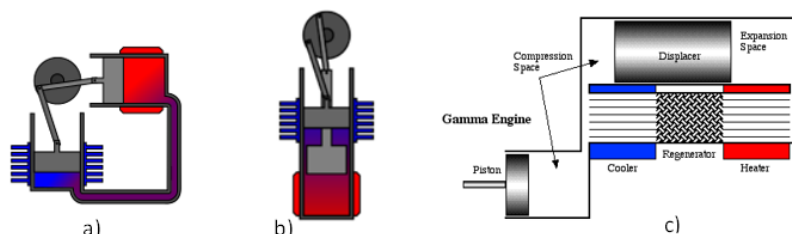
Stirlingův motor je pístový motor s vnějším spalováním, ve kterém se uvolněná energie předává pracovní látce tepelného oběhu. Nejčastěji je to helium, vzduch, dusík nebo CO<sub>2</sub>. Látka je střídavě stlačována v studeném válci (kompresní prostor) a expanduje v horkém válci (expanzní prostor). Teplo je přiváděno do okruhu z vnějšího zdroje přes tepelný výměník (ohřívač). Teplo, které není přeměněno na technickou práci hřídele, je odváděno chladicí vodou ve studeném tepelném výměníku (chladiči). Plyn se přenáší z horké zóny do chladiče a zpět pomocí regenerátoru. [9]



Obr. 1.3. Schéma kogenerační jednotky se stirlingovým motorem

Z hlediska konstrukčního uspořádání rozlišujeme 3 základní typy:

- Alfa – dva válce osově souměrné
- Beta – dva písty v jednom válci
- Gama – dva válce osově nesouměrné



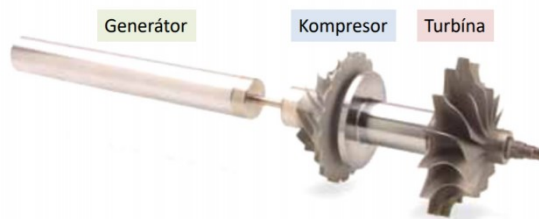
Obr. 1.4. Typy stirlingova motoru a) Alfa, b) Beta, c) Gama

Výhody Stirlingova motoru je vysoká účinnost, tichý chod (nedochází k zážehům) a nižší emise škodlivých látek. Hlavní výhodou je možnost pracovat s jakýmkoliv tepelným zdrojem, jak fosilními palivy, tak i možnost využití biomasy a různých obnovitelných zdrojů jako je třeba sluneční záření. Motor nemá spotřebu oleje, naopak má dlouhou životnost a s tím i spjaté nízké servisní náklady. [1]

Naopak nevýhody najdeme ve složitosti zařízení a dosud nezapočaté sériové výroby, od čehož se pak odvíjí vyšší pořizovací cena. Jednotka má vyšší měrnou hmotnost na jednotku výkonu a při montáži je nutno použít speciálních materiálů a technologických postupů. [1]

### 1.3.3. Mikroturbíny

Mikroturbíny se pohybují v rozmezí výkonů od 25kWe až po 250kWe. Jedná se o kompaktní vysokootáčkové stroje obsahující kompresor, spalovací komoru, regenerační výměník, turbínu a generátor. Všechny jsou jednohřídelové a mají převod výkonu do sítě pomocí frekvenčního měniče. Mají pouze jednu rotační část



Obr. 1.5. Rotační část mikroturbíny

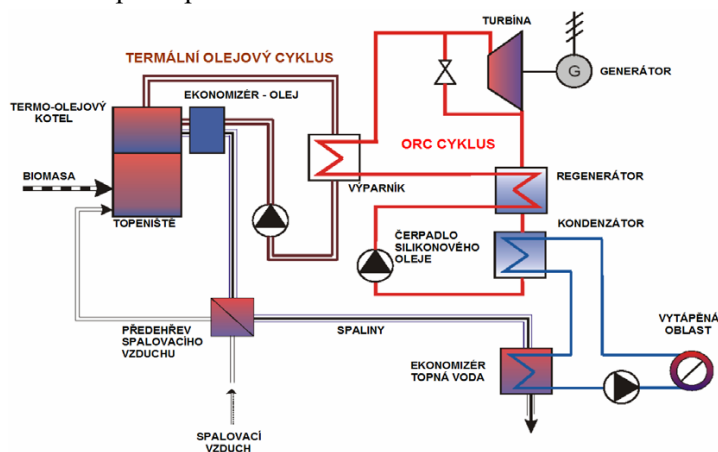
Ložiska jsou chlazená vzduchem, tudíž není potřeba mazacího oleje. Jako palivo pro mikroturbíny se používá zemní plyn či nafta nebo benzín.

Mikroturbíny se dodávají zapouzdřené v jedné skřínce s protihlukovými bariérami. Montáž zařízení je pak velice jednoduchá. Jediná vyměnitelná součást je vzduchový filtr. Při daném výkonu má malou hmotnost a rozměry, možnost rychlého najetí a změna výkonu. Kogenerační jednotky s touto pohonnou jednotkou mají nízké investiční náklady a spolu s krátkou dobou výstavby, malým rozměrem a vysokým výkonem z něj dělá ideální jednotku pro provoz bytových či hotelových jednotkách.

Naopak velkou nevýhodou je, že při zvolení nižšího výkonu se zvedají měrné investiční náklady, zároveň při nižším zatížení klesá účinnost motoru. Museli bychom tedy zajistit stálý odběr. Vyžadují relativně čisté palivo (zemní plyn).

#### 1.3.4. Zařízení využívající organický Rankinův cyklus (ORC)

S využitím biomasy jako primárního paliva nelze využít spalovací motory nebo mikroturbíny. Při využití vody se zde objevují nevhodné vlastnosti páry, kdy při zvyšující se teplotě klesá měrný objem páry. Pro překonání tohoto problému se využívá pracovního cyklu s organickou látkou, pro který byl vyvinu speciální silikonový olej. Tento olej má mnohem lepší vlastnosti než voda, při vysokých teplotách zachovává nízký tlak a nedochází k výraznému zmenšení měrného objemu. Pracovní cyklus je založen na principu Rankin Clausiova oběhu.



Obr. 1.6. Schéma zařízení realizujícího ORC cyklus

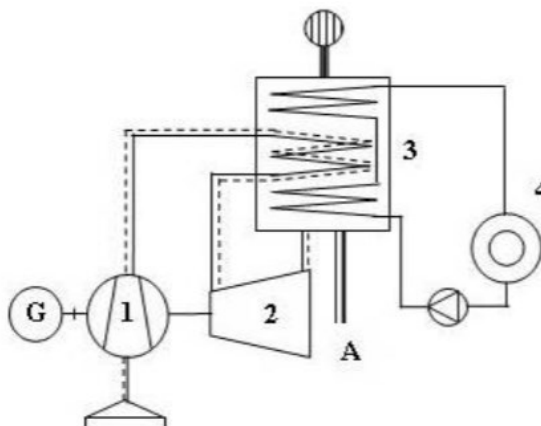
Princip funkce je stejný jako u parního typu, jen není pracovní látkou voda ale termoolej. Do zařízení lze přidat regenerační výměník, který zvyšuje celkovou účinnost cyklu.



Výhodou zařízení pracující na tomto cyklu je vysoká účinnost, nízké provozní náklady a možnost zpracovávat odpadní látky. Výkonové rozmezí těchto jednotek se pohybuje od stovek kWe až po jednotky MWe.

### 1.3.5. Systém Talbott

Systém Talbott se využívá pro menší tepelné a elektrické výkony. Hlavní částí systému je kotel, který je vybaven teplosměnnými plochami pro ohřev stlačeného vzduchu a pro ohřev vody, a pak ještě vzduchová turbína s kompresorem.



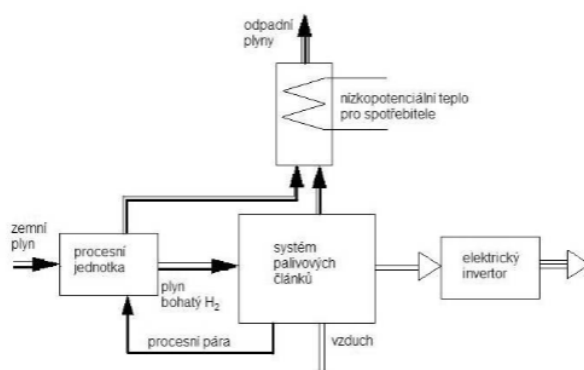
Obr. 1.7. Schéma systému Talbott (1. kompresor, 2. vzduchová turbína, 3. kotel, 4. spotřebitel tepla, A. přívod paliva, G. generátor)  
[1]

Nasávaný vzduch je kompresorem stlačen a veden do kotle, kde se ohřívá na teplotu cca 800°C. Ohřátý vzduch expanduje ve vzduchové turbíně pohánějící kompresor a elektrický generátor. Vzduch vystupující z turbíny je spalovacím médiem pro kotel navržený pro spalování biomasy.

Zařízení je velmi kompaktní a ke spalování v kotli využívá biomasu jako například různé zemědělské odpady, lesní odpady, dřevní štěpku nebo pelety. Zařízení dosahuje průměrných výkonů 80 až 100kWe

### 1.3.6. Palivové články

Použití palivových článků v kombinované výrobě elektřiny a tepla je založen na principu chemické reakce plynu s okysličovadlem v tzv. palivovém článku tvořeném vhodnými elektrodami a elektrolytem. Palivo a okysličovadlo se na katalytickém povrchu elektrod ionizují, ionty jsou vedeny elektrolytem k druhé elektrodě a uvolněné elektrony vytvářejí elektrický proud. Tato přímá přeměna energie chemicky vázané v palivu na energii elektrickou není limitována termodynamickými principy jako ve spalovacích motorech a umožňuje dosažení vyšší účinnosti. [10]



Obr. 1.8. Schéma zařízení pro kogenerační využití palivových článků [1]

Nejvhodnějším palivem pro palivové články je vodík s okysličovadlem. Problém je však jeho nákladné získávání a skladování. Naopak zemního plynu máme dostatek, tak je systém doplněn o procesní jednotku, která rozloží zemní plyn na vodík a oxidy uhlíku díky parnímu reformingu. Jelikož palivové články generují stejnosměrný proud, musíme jej pro připojení do distribuční sítě pomocí střídače transformovat na střídavý proud. Palivové články vhodné k použití do kogeneračních jednotek lze rozdělit do 5 skupin: [1,4]

- AFC (Acid Fuel Cells)  
Nejstarší palivový článek. Jako elektrolyt využívá vodný roztok alkalického hydroxidu. Pracovní teplota nepřesahuje 92°C.
- PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells)  
Funkci elektrolytu plní polymerní membrána, která musí být neustále zvlhčována. Nesmí dojít k vyschnutí. Jako katalyzátor se využívá platina nebo slitiny platiny. Primárním palivem článku je vodík a jako okysličovadlo využijeme kyslík či vzduch. Pracovní teplota nepřesahuje 90°C. Článek je vhodný pro menší výkony.
  - o DMFC (Direct Methanol Fuel Cells)  
Tento palivový článek je podkategorií palivového článku typu PEM s využitím primárního paliva metanolu namísto vodíku. Hlavní výhodou je jednoduché skladování metanolu.
- PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells)  
Jako elektrolyt využívají kyselinu fosforečnou. Pracovní teplota těchto článků se pohybuje okolo 200°C a jejich účinnost 45%.
- MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells)  
Články s taveninou, tvořené tavenými uhličitany s pracovní teplotou přibližně 600°C. Účinnost těchto zařízení může dosahovat až 60%. Nevýhodou jsou vysoké investiční náklady na pomocná zařízení.
- SOFC (Solid Oxide Fuel Cells)  
Články s pevným (keramickým) elektrolytem, s pracovní teplotou 900-1000°C. Dokáží využívat jako palivo i plyn vzniklý zplyněním uhlí, čehož by mohla využít Česká republika s bohatými zásobami uhlí.

## 2. Kogenerační jednotky malých výkonů dostupné na trhu

### 2.1. Viessmann

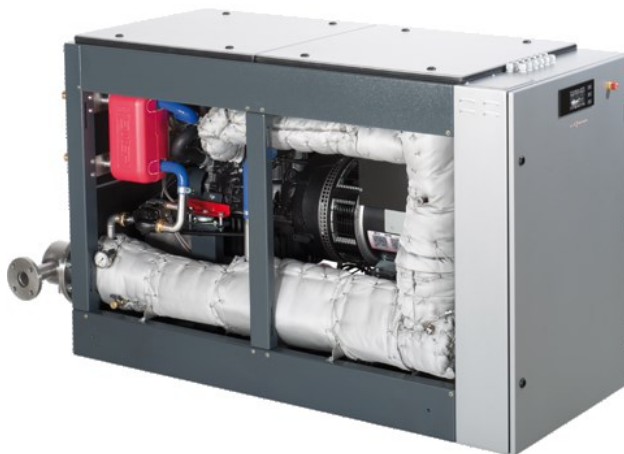
Skupina Viessmann je předním mezinárodním výrobcem systémů vytápění, chladicí a klimatizační techniky. Firma byla založena v roce 1917 a nyní zaměstnává okolo 12 000 zaměstnanců.

#### 2.1.1. Produktová řada Vitobloc 200

Jedná se o blokové kogenerační jednotky spalující zemní a zkapalněný plyn.

##### 2.1.1.1. Vitobloc 200 EM-20/39

Tento modul poskytuje výkon 20kWe a 39kWt. S integrovanou kondenzační technikou využívá až 95% primárního paliva. Palivem tohoto modulu je zkapalněný zemní plyn. Jako pohonná jednotka je zde využit 4-válcový plynový Ottův (zážehový) motor, interval údržby zaručuje 6000 provozních hodin bez doplňování oleje. [19]



Obr. 2.1. Produktový řez Vitobloc 200 EM-20/39 [19]

Tab. 2.1. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-20/39 při spalování zemního plynu a LPG

| Spalování zemního plynu |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| Typ KJ                  | Vitobloc 200 EM-20/39 |
| Motor                   | Toyota 4Y             |
| Elektrický výkon        | 20 kWe                |
| Tepelný výkon           | 39 kWt                |
| Příkon v palivu         | 62 kW                 |
| Účinnost elektrická     | 32,2 %                |
| Účinnost tepelná        | 62,7 %                |
| Účinnost celková        | 94,9 %                |

| Spalování LPG       |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Typ KJ              | Vitobloc 200 EM-20/39 |
| Motor               | Toyota 4Y             |
| Elektrický výkon    | 20 kWe                |
| Tepelný výkon       | 39,5 kWt              |
| Příkon v palivu     | 64,4 kW               |
| Účinnost elektrická | 31,1 %                |
| Účinnost tepelná    | 61,3 %                |
| Účinnost celková    | 62,4 %                |

### 2.1.1.2. Vitobloc EM-50/81

Tento modul poskytuje výkon 50kWe a 81kWt. Jako primární palivo je využit bioplyn nebo zemní plyn. Doporučuje se jednou ročně provést údržbu a minimálně jednou za dva roky vyměnit olej. Platnost kalibrace elektroměru je 8 let. Ovšem platnost kalibrace elektroměru je 8



Obr. 2.2. Produktový řez Vitobloc 200 EM-50/81 [11]

Tab. 2.2. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-50/81

| Spalování zemního plynu |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| Typ KJ                  | Vitobloc 200 EM-50/81 |
| Motor                   | MAN E0834 E           |
| Elektrický výkon        | 50 kWe                |
| Tepelný výkon           | 81 kWt                |
| Příkon v palivu         | 145 kW                |
| Účinnost elektrická     | 34,5 %                |
| Účinnost tepelná        | 55,9 %                |
| Účinnost celková        | 90,3 %                |

### 2.1.1.3. Vitobloc 200 EM-70/115

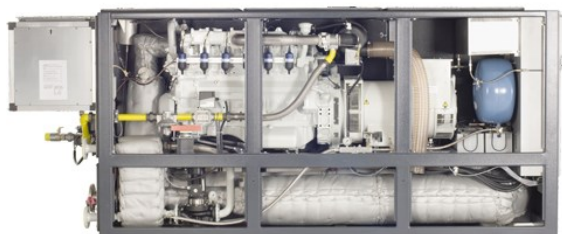
Modul poskytuje výkon 70kWe a 115kWt. Primárním palivem jednotky je zemní plyn. Lze připojit kondenzační výměník tepla typu Vitotrans 200 AC a dodat tak až 22kWt navíc. Parametry jsou velmi podobné jako u předcházejícího modelu, největší změnou je, že tento model využívá 6-válcového motoru, kdežto Vitobloc 200 EM-50/81 pouze 4-válcového. [12]

Tab. 2.3. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-70/115

| Spalování zemního plynu |                        |
|-------------------------|------------------------|
| Typ KJ                  | Vitobloc 200 EM-70/115 |
| Motor                   | MAN E0836 E            |
| Elektrický výkon        | 70 kWe                 |
| Tepelný výkon           | 115 kWt                |
| Příkon v palivu         | 204 kW                 |
| Účinnost elektrická     | 34,3 %                 |
| Účinnost tepelná        | 56,4 %                 |
| Účinnost celková        | 90,7 %                 |

#### 2.1.1.4. Vitobloc 200 EM-140/207

Modul Vitobloc 200 EM-140/207 poskytuje výkon 140 kWe a 207kWt. S navazujícím k 200 AC lze dodat dalších 40kWt. Palivem jednotky je zemní plyn.



Obr. 2.3. Produktový řez Vitobloc EM-140/207[13]

Tab. 2.4. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-140/207

| Spalování zemního plynu |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| Typ KJ                  | Vitobloc 200 EM-140/207 |
| Motor                   | MAN E2876 E             |
| Elektrický výkon        | 140 kWe                 |
| Tepelný výkon           | 209 kWt                 |
| Příkon v palivu         | 384 kW                  |
| Účinnost elektrická     | 36,5 %                  |
| Účinnost tepelná        | 54,4 %                  |
| Účinnost celková        | 90,9 %                  |

#### 2.1.1.5. Vitobloc 200 EM-199/263

Primárním palivem jednotky je zemní plyn. Výkon jednotky je 199 kWe a 263 kWt. Chlazení je dvouúrovňové, to znamená, že máme vysokoteplotní okruh a nízkoteplotní okruh. [14]



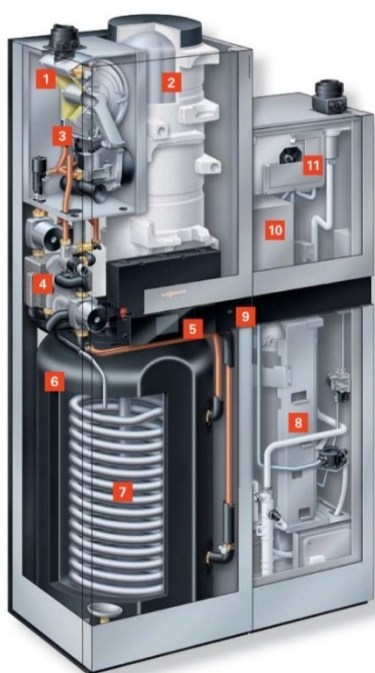
Obr. 2.4. Produktový řez Vitobloc 200 EM-199/263 [14]

Tab. 2.5. Technické parametry KJ Vitobloc 200 EM-199/263

| Spalování zemního plynu                  |                         |
|--|-------------------------|
| Typ KJ                                   | Vitobloc 200 EM-199/263 |
| Motor                                    | MAN E2876 E             |
| Elektrický výkon                         | 199 kWe                 |
| Vysokoteplotní tepelný výkon             | 265 kWt                 |
| Nízkoteplotní tepelný výkon              | 20 kWt                  |
| Příkon v palivu                          | 538 kWt                 |
| Účinnost elektrická                      | 37,0 %                  |
| Tepelná účinnost vysokoteplotního okruhu | 49,3 %                  |
| Tepelná účinnost nízkoteplotního okruhu  | 3,7 %                   |
| Účinnost celková                         | 90,0 %                  |

### 2.1.2. Produktová řada Vitovalor 300-P

Jedná se o kogenerační jednotku s nízkoteplotními palivovými články. Tuto jednotku vyvíjel Veissmann ve spolupráci s firmou Panasonic. Výstupní výkon je 750We a 1kWt. Jednotka je vybavena kromě modulu s palivovými články také plynovým kondenzačním kotlem na pokrytí špiček. S použitím plynového kondenzačního kotle lze dosáhnout výkonu až 25,2 kWt pokud ohříváme na 30°C a 18,9 kWt pro 50°C. Dosahuje elektrické účinnosti 37% a celkové 81,3%. Účinnost plynového kondenzačního kotle je 98%. Každé 2 roky je nutná údržba, Zejména výměna vzduchových filtrů a každých 5 let výměna plynových senzorů. Jako palivo je využita energie zemního plynu, který se v procesní jednotce rozloží na vodík a oxidy uhlovodíku pomocí parního reformingu. [15]



- 1 – Plynový kondenzační kotel pro pokrytí špiček
- 2 – Příprava teplé vody
- 3 – Radiální výměník tepla z nerezové oceli
- 4 – Hydraulická jednotka
- 5 – Řídící jednotka kompenzující vliv počasí
- 6 – Nádrž topné vody
- 7 – Cívka pro vnitřní nepřímý ohřev vody
- 8 – Reformátor
- 9 – Elektroměr, jednotka CHP
- 10 – Palivový článek
- 11 – Střídač

Obr. 2.5. Popis jednotlivých částí Vitovalor 300-P [15]

Tab. 2.6. Technické parametry KJ Vitovalor 300-P

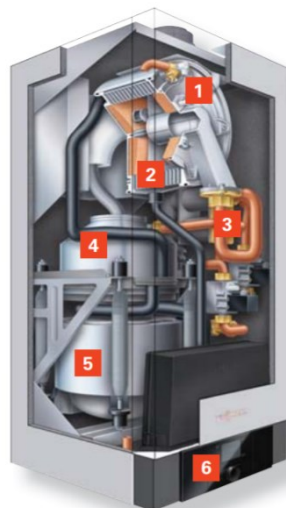
| Spalování zemního plynu                 |                 |
|---|-----------------|
| Typ KJ                                  | Vitovalor 300-P |
| Typ palivového článku                   | PAFC            |
| Elektrický výkon                        | 750 We          |
| Tepelný výkon                           | 1 až 25,2 kWt   |
| Příkon v palivu                         | 1,95 kW         |
| Účinnost elektrická                     | 37 %            |
| Účinnost tepelná<br>kondenzačního kotle | 98 %            |
| Účinnost celková                        | 90 %            |



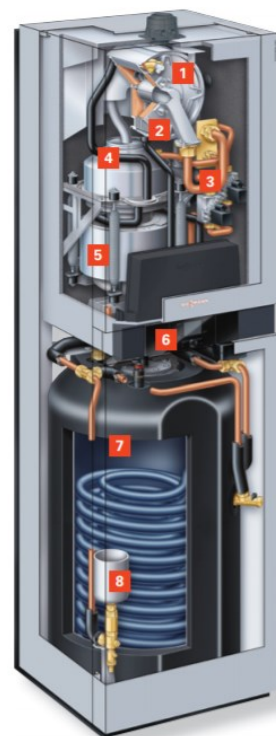
### 2.1.3. Produktová řada Vitotwin 300-W a Vitotwin 350-F

Jedná se o kogenerační jednotku se Stirlingovým motorem pro využití u menších bytových domů a novostaveb. Jednotka dosahuje výkonů 3,6 – 26 kWt (Stirlingův motor 3,6 – 5,3 kWt) a 0,6 – 1 kWe podle stupně využití. Účinnost dosahuje až 96%. Vitotwin je vybaven také plynovým kondenzačním kotlem pro pokrytí špiček. Palivem je zemní plyn. [2]

- 1 – Kondenzační kotel pro pokrytí špiček
- 2 – Radiální výměník tepla z nerezové oceli
- 3 – Rozdělovací vzduchový ventil
- 4 – Prstencový hořák
- 5 – Stirlingův motor
- 6 – Regulace
- 7 – Zásobník teplé vody oddělený od systému s kapacitou 175 litrů
- 8 – Expanzní nádoba



Obr. 2.7. Popis jednotlivých částí Vitotwin 300-W



Obr. 2.6. Popis jednotlivých částí Vitotwin 350-F

Tab. 2.7. Technické parametry KJ Vitotwin 300-W a Vitotwin 350-F

| Spalování zemního plynu |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| Typ KJ                  | Vitotwin 300-W a Vitotwin 350-F |
| Motor                   | Stirling                        |
| Elektrický výkon        | 0,6 až 1 kWe                    |
| Tepelný výkon           | 3,6 až 26 kWt                   |
| Faktor primární energie | 0,98                            |
| Účinnost celková        | 96 %                            |

## 2.2. Motorgas

Firma založená v roce 1992 se zabývá výrobou plynových motorů a kogeneračních jednotek. Působí po celé střední a východní Evropě.

### 2.2.1. Produktová řada MGM

Řada MGM využívá špičkových vlastností plynových motoru MAN. Tato řada je kompletně vyvíjena v České republice. Primárním palivem těchto kogeneračních jednotek je zemní plyn o různé kvalitě a bioplyn. [16]

Tab. 2.8. Technické parametry KJ MGM 50 při spalování zemního plynu a bioplynu

| Spalování zemního plynu |                | Spalování bioplynu  |                |
|-------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Typ KJ                  | MGM 50         | Typ KJ              | MGM 50         |
| Motor                   | MAN E0834 E302 | Motor               | MAN E0834 E302 |
| Elektrický výkon        | 51 kWe         | Elektrický výkon    | 42 kWe         |
| Tepelný výkon           | 78 kWt         | Tepelný výkon       | 59 kWt         |
| Příkon v palivu         | 148 kW         | Příkon v palivu     | 124 kW         |
| Účinnost elektrická     | 34,5 %         | Účinnost elektrická | 33,9 %         |
| Účinnost tepelná        | 52,7 %         | Účinnost tepelná    | 47,6 %         |
| Účinnost celková        | 87,2 %         | Účinnost celková    | 81,5 %         |

### 2.2.2. Produktová řada MGJ

Řada MGJ využívá jako pohonnou jednotku motory Jenbacher. V této řadě se vyrábí pouze kogenerační jednotky velkých výkonů

## 2.3. Tedom

Mezinárodní firma založena v roce 1991. Zabývá se výrobou a vývojem kogeneračních jednotek spalujících zemní plyn, bioplyn či jiná paliva. Vyvinula svoji vlastní řadu motorů TEDOM. V roce 2010 se stala spoluzakladatelem a vlastníkem menšinového podílu ve firmě ČEZ energo.

### 2.3.1. Produktová řada Micro

Tab. 2.9. Technické parametry KJ firmy TEDOM, řady micro při spalování na zemní plyn, bioplyn a LPG [17]

| Typ paliva              | Zemní plyn |          |          |          |          | Bioplyn  | LPG     |          |
|-------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Typ jednotky            | Micro 7    | Micro 20 | Micro 30 | Micro 33 | Micro 50 | Micro 30 | Micro 7 | Micro 30 |
| Elektrický výkon (kW)   | 6,5        | 20       | 30       | 33       | 50       | 25       | 6,5     | 30       |
| Tepelný výkon (kW)      | 16,0       | 41,0     | 58,1     | 63,7     | 88,5     | 47,5     | 16,4    | 60,9     |
| Elektrická účinnost (%) | 27,0       | 31,0     | 32,4     | 32,5     | 34,2     | 31,6     | 26,5    | 31,5     |
| Tepelná účinnost (%)    | 66,3       | 64,0     | 62,9     | 62,8     | 60,6     | 60,0     | 67,0    | 64,0     |
| Celková účinnost (%)    | 93,3       | 95,0     | 95,3     | 95,3     | 94,9     | 91,6     | 93,5    | 95,5     |
| Příkon v palivu (kW)    | 24,1       | 64,5     | 92,4     | 101,5    | 146      | 79,1     | 24,5    | 95,2     |

Malé a kompaktní kogenerační jednotky v rozmezí výkonů 7 – 50kWe

### 2.3.2. Produktová řada Cento

Zde se nachází kogenerační jednotky středních výkonů v rozmezí 50 – 500 kWe. Firma nabízí konfiguraci na míru.

## 2.4. Gentec

Společnost sídlící v Brně, která se zabývá výrobou a vývojem kogeneračních, mikrokogeneračních a trigeneračních jednotek na zemní plyn, bioplyn či jiná paliva. Také nabízí



kompletní návrh, včetně technického řešení a následného servisu. Firma nabízí KJ v široké škále výkonů od 30 kWe až po 4300kWe.

#### 2.4.1. Produktová řada KE – MNG

Tab. 2.10. Technické parametry KJ firmy Gentec při spalování zemního plynu a bioplynu [18]

| Typ paliva              | Zemní plyn       |                  |               |                   |               | Bioplyn      |              |               |
|-------------------------|------------------|------------------|---------------|-------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Typ jednotky            | KE_MNG<br>50 eco | KE_MNG<br>70 eco | KE_MNG<br>100 | KE_MNG<br>130 eco | KE_MNG<br>200 | KE_MBG<br>30 | KE_MBG<br>65 | KE_MBG<br>100 |
| Elektrický výkon (kW)   | 50               | 70               | 105           | 130               | 200           | 32           | 64           | 105           |
| Tepelný výkon (kW)      | 78               | 108              | 137           | 191               | 237           | 51           | 93           | 135           |
| Elektrická účinnost (%) | 34,3             | 34,7             | 37,7          | 37,0              | 39,7          | 31,9         | 35,9         | 38,3          |
| Tepelná účinnost (%)    | 53,5             | 53,4             | 49,3          | 54,4              | 47,0          | 51,0         | 52,0         | 49,3          |
| Celková účinnost (%)    | 87,8             | 88,1             | 87,0          | 91,4              | 86,7          | 82,9         | 87,9         | 87,6          |
| Příkon v palivu (kW)    | 146,1            | 201,6            | 287,0         | 351,3             | 503,8         | 100,0        | 179,0        | 274,0         |

### 3. Analýza využitelnosti mikrokogeneračních systémů u vybraných typů zákazníků

V tomto tématu se budu zabývat využitím kogeneračních jednotek u 6-ti vybraných odběratelů střední velikosti. Jedná se o střední odbornou školu, zimní stadion, hotel, nemocnici, galerii a domov důchodců. Budu vycházet z naměřených dat roční spotřeby plynu (měsíčních hodnot) a spotřeby elektrické energie (hodinových hodnot) za rok 2018.

#### 3.1. Spotřeba tepla

Při návrhu vhodné mikrokogenerační jednotky budu vycházet ze spotřeby tepla. Nepředpokládám odprodej přebytečného tepla do teplovodní sítě, jelikož provozovatel musí splňovat několik podmínek pro připojení na teplovodní síť. To se v současné době pro střední odběratele nevyplatí. Abych zajistil výhodnost systému a zároveň splnil podmínky programu pro podporu KVET, dimenzuji mikrokogenerační jednotku tak abych spotřeboval veškeré vyrobené teplo. S KJ nelze pokrýt veškerou spotřebu tepla. Zejména pak spotřebu tepla na vytápění, která se mění v závislosti na ročním období.

V tabulce č. 3.1. naleznete měsíční hodnoty odečtu spotřeby plynu. Na základě těchto hodnot nelze navrhnout kogenerační jednotku. K tomu abychom mohli navrhnout vhodnou kogenerační jednotku potřebujeme roční diagram trvání potřeby tepla. K sestavení tohoto diagramu potřebuji znát denní hodnoty. Ty lze získat pomocí TDD (typový diagram dodávky) plynu, který najdete na webu OTE v sekci statistika. Přepočet hodnot provedu podle vzorce: [6]

$$Q_{iDj} = Q_{iD} * \frac{TDD_{pid}}{\sum_{t \in D} TDD_{ptR}} \quad (1)$$

kde,

|                            |   |
|----------------------------|---|
| $D_j$                      | je období obsažené v období D a platí, že $\sum_j D_j = D$ ,  |
| $Q_{iD}$                   | je spotřeba plynu odběrného místa $i$ s měřením typu C nebo CM za období D,   |
| $TDD_{pid}$                | je hodnota přepočteného typového diagramu dodávky pro třídu TDD $p$ v příslušném odběrném místě $i$ s měřením typu C nebo CM v plynárenském dni $d$ náležejícího do období D, |
| $\sum_{t \in D} TDD_{ptR}$ | je součet přepočtených typových diagramů dodávky pro třídu TDD $p$ platných v odběrném místě $i$ s měřením typu C nebo CM za všechny plynárenské dny $t$ v období D.          |

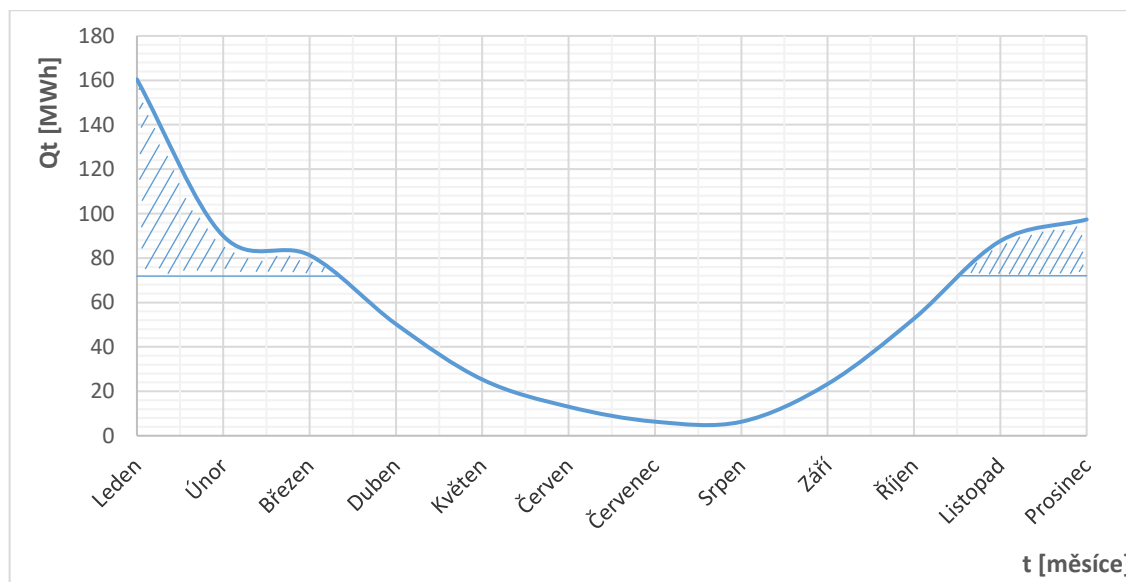
Třídu TDD vzhledem k charakteristice odběru volím SO1 (TDD9), což je třída určená pro střední odběr (tj 630MWh a více). Z těchto hodnot pak modeluju roční diagram trvání spotřeby tepla.

Tab. 3.1. Měsíční a celkové hodnoty spotřeby plynu

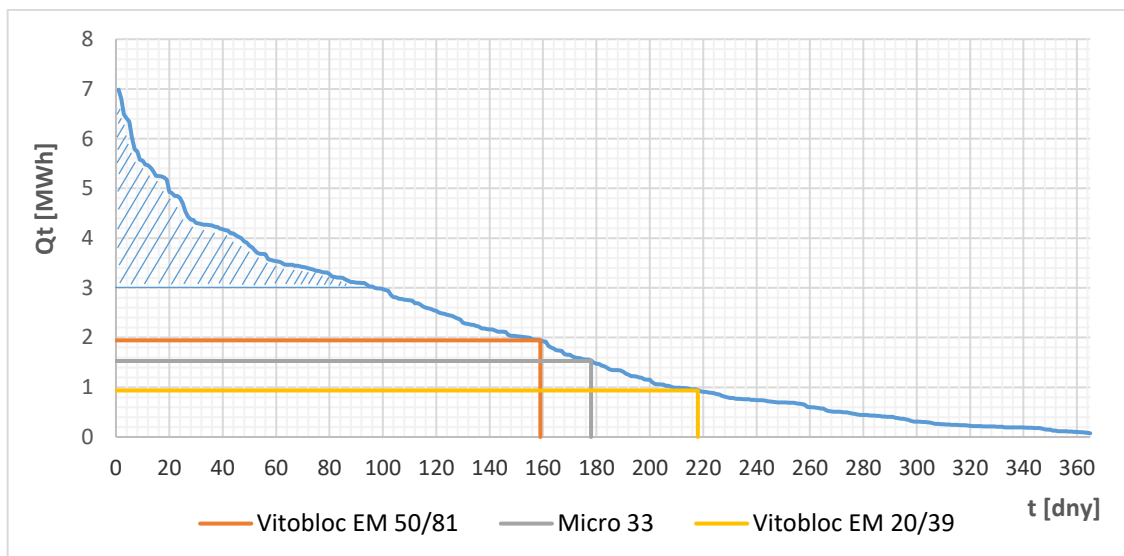
|        |          | Spotřeba plynu (MWh) |               |       |           |         |                |
|--------|----------|----------------------|---------------|-------|-----------|---------|----------------|
|        |          | SOŠ                  | Zimní stadion | Hotel | Nemocnice | Galerie | Domov důchodců |
| Celkem |          | 694                  | 782           | 638   | 1 468     | 1 051   | 820            |
| 2018   | Leden    | 160,40               | 121,00        | 88,99 | 129,34    | 217,35  | 141,83         |
|        | Únor     | 89,90                | 112,00        | 84,52 | 118,57    | 154,15  | 100,19         |
|        | Březen   | 81,27                | 114,00        | 75,59 | 123,88    | 36,92   | 83,78          |
|        | Duben    | 50,26                | 80,00         | 53,26 | 119,26    | 25,15   | 69,08          |
|        | Květen   | 25,31                | 15,00         | 38,14 | 125,99    | 16,77   | 43,39          |
|        | Červen   | 13,06                | 3,00          | 16,15 | 124,84    | 8,35    | 24,96          |
|        | Červenec | 6,34                 | 2,00          | 16,84 | 124,99    | 8,51    | 24,63          |
|        | Srpen    | 6,30                 | 0,35          | 16,84 | 117,81    | 34,27   | 24,61          |
|        | Září     | 23,29                | 34,00         | 35,73 | 111,69    | 44,71   | 40,92          |
|        | Říjen    | 52,71                | 92,00         | 57,03 | 114,03    | 119,25  | 73,20          |
|        | Listopad | 87,67                | 102,00        | 69,40 | 122,85    | 166,70  | 86,99          |
|        | Prosinec | 97,34                | 107,00        | 85,55 | 134,42    | 219,02  | 106,50         |

### 3.1.1. Střední odborná škola

Sestrojím roční diagram trvání spotřeby tepla a podle něj se pokusím navrhnout 3 různé kogenerační jednotky o různých výkonech a porovnat je. Hlavní podmínkou je abych přesáhl 3 000 hodin provozu KJ. Nebudu se zabývat paralelními chody KJ a využití více jednotek současně, uvažuji pouze chod jedné KJ.



Obr. 3.1. Diagram trvání spotřeby tepla v jednotlivých měsících ve střední odborné škole

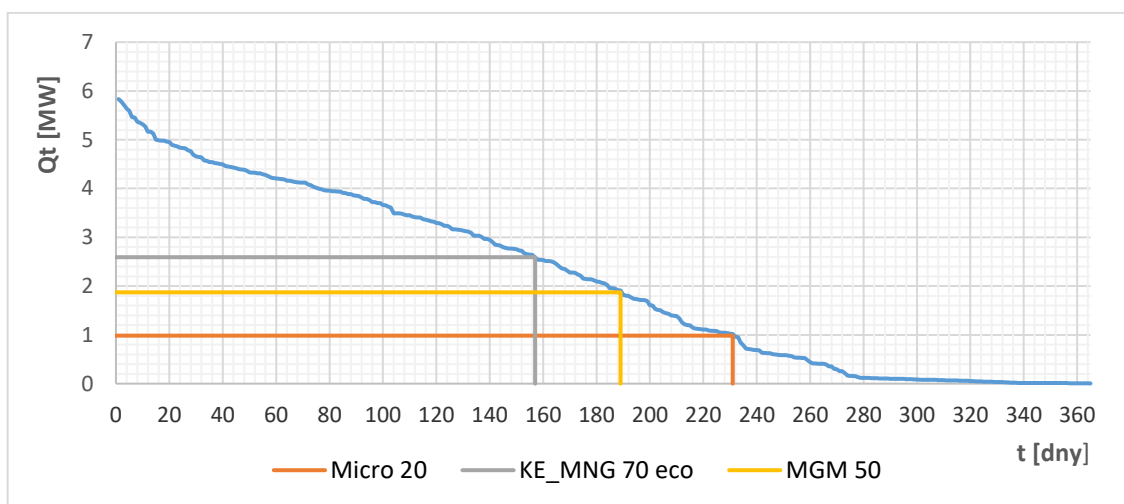


Obr. 3.2. Roční diagram trvání spotřeby tepla střední odborné školy a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek

### 3.2. Celkové vyrobené teplo KJ ve střední odborné škole

| Výrobce                     | Veissmann         | Tedom        | Veissmann         |
|-----------------------------|-------------------|--------------|-------------------|
| Typ                         | Vitobloc EM 50/81 | Micro 33     | Vitobloc EM 20/39 |
| Tepelný výkon (kW)          | 81                | 63,7         | 39                |
| Počet motohodin (h)         | 3 816             | 4 272        | 5 232             |
| <b>Vyrobené teplo (MWh)</b> | <b>309,1</b>      | <b>272,1</b> | <b>204,0</b>      |

### 3.1.2. Zimní stadion

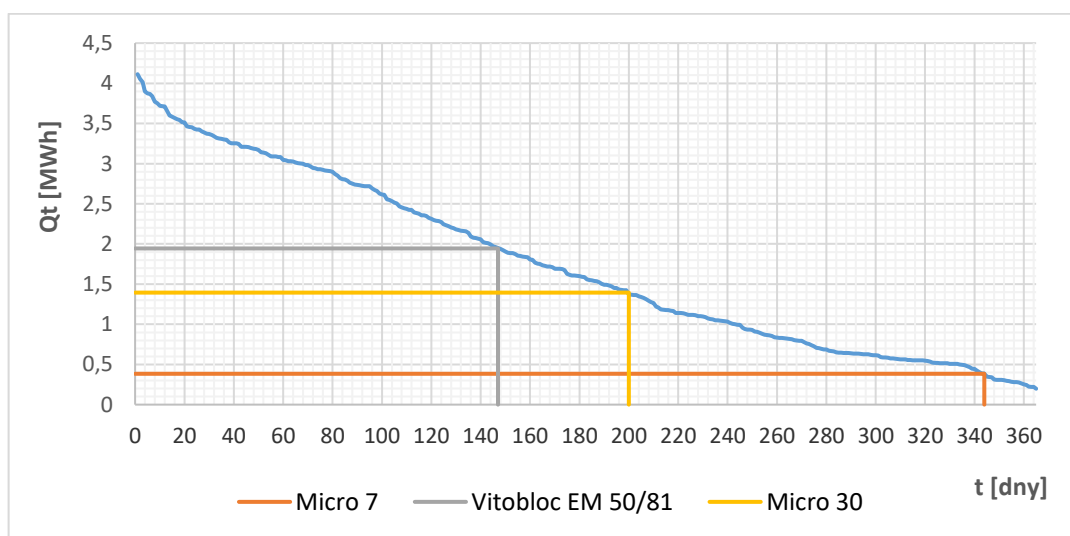


Obr. 3.3. Roční diagram trvání spotřeby tepla v areálu zimního stadionu návrh tří různých typů kogeneračních jednotek

Tab. 3.3. Celkové vyrobené teplo KJ v areálu zimního stadionu

| Výrobce              | Tedom        | Gentec        | Motorgas     |
|----------------------|--------------|---------------|--------------|
| Typ                  | Micro 20     | KE_MNG 70 eco | MGM 50       |
| Tepelný výkon (kW)   | 41           | 108           | 78           |
| Počet motohodin (h)  | 5 544        | 3 768         | 4 536        |
| Vyrobené teplo (MWh) | <b>227,3</b> | <b>406,9</b>  | <b>353,8</b> |

### 3.1.3. Hotel



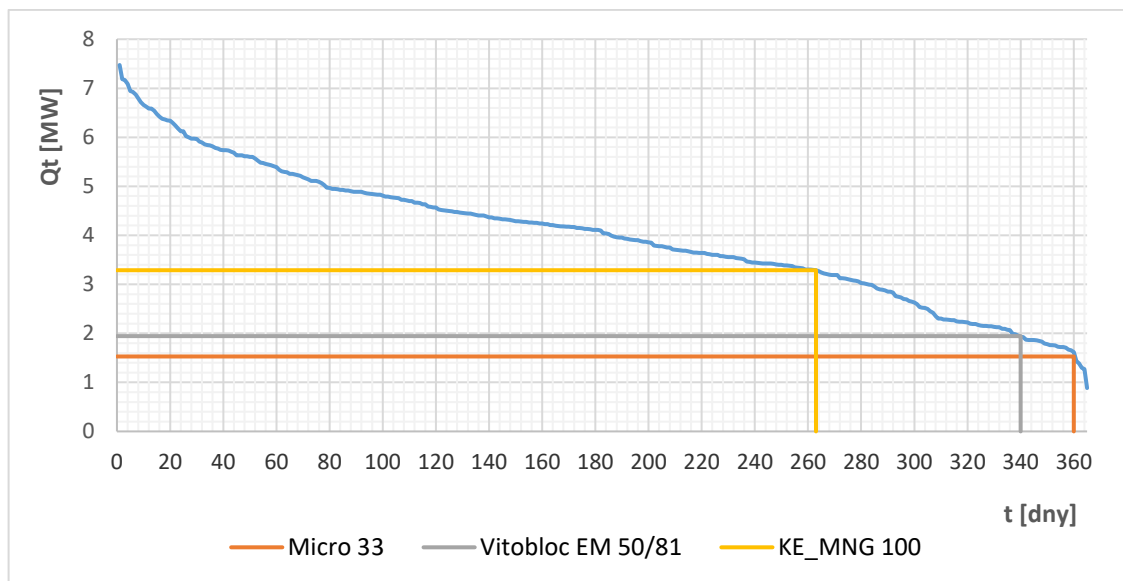
Obr. 3.4. Roční diagram trvání spotřeby tepla hotelu a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek

Tab. 3.4. Celkové vyrobené teplo KJ v hotelu

| Výrobce              | Tedom        | Veissmann         | Tedom        |
|----------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Typ                  | Micro 7      | Vitobloc EM 50/81 | Micro 30     |
| Tepelný výkon (kW)   | 16,0         | 81,0              | 58,1         |
| Počet motohodin (h)  | 8 256        | 3 528             | 4 800        |
| Vyrobené teplo (MWh) | <b>132,1</b> | <b>285,7</b>      | <b>278,8</b> |

### 3.1.4. Nemocnice

Nemocnice odebírá teplo v průběhu celého roku, což je pro provoz KJ velmi výhodné. Můžu použít KJ s vyšším výkonem a mnohem delšími provozními hodinami než u předchozích odběratelů, kde jsem značně limitován otopnou sezónou.



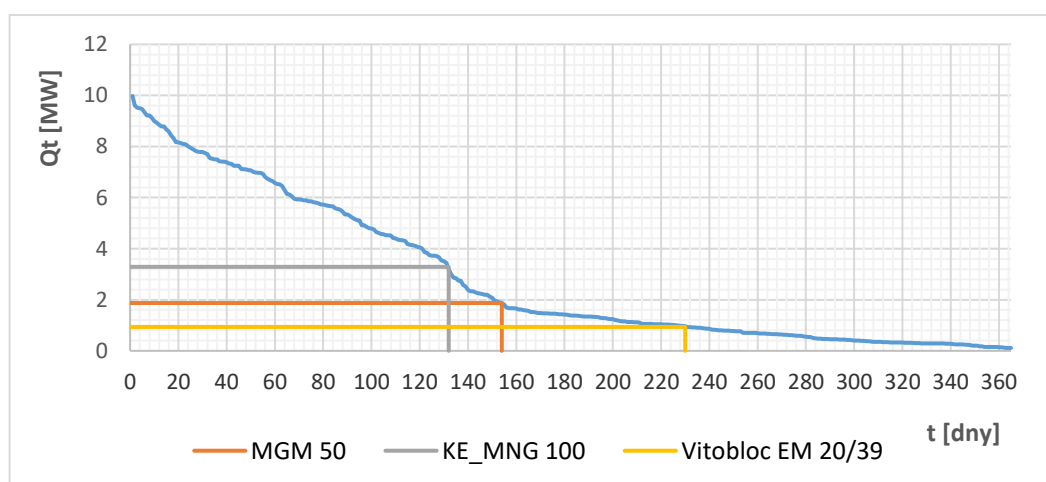
Obr. 3.5. Roční diagram trvání spotřeby tepla nemocnice a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek

### 3.5. Celkové vyrobené teplo KJ v nemocnici

| Výrobce                     | Tedom        | Veissmann         | Gentec       |
|-----------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Typ                         | Micro 33     | Vitobloc EM 50/81 | KE_MNG 100   |
| Tepelný výkon (kW)          | 63,7         | 81,0              | 137          |
| Počet motohodin (h)         | 8 640        | 8 160             | 6 312        |
| <b>Vyrobené teplo (MWh)</b> | <b>550,0</b> | <b>660,9</b>      | <b>864,7</b> |

### 3.1.5. Galerie

V letních měsících je minimální spotřeba. Z diagramu je patrné, že teplo je využito výhradně pro vytápění, tento provoz je pro použití KJ nevýhodný.

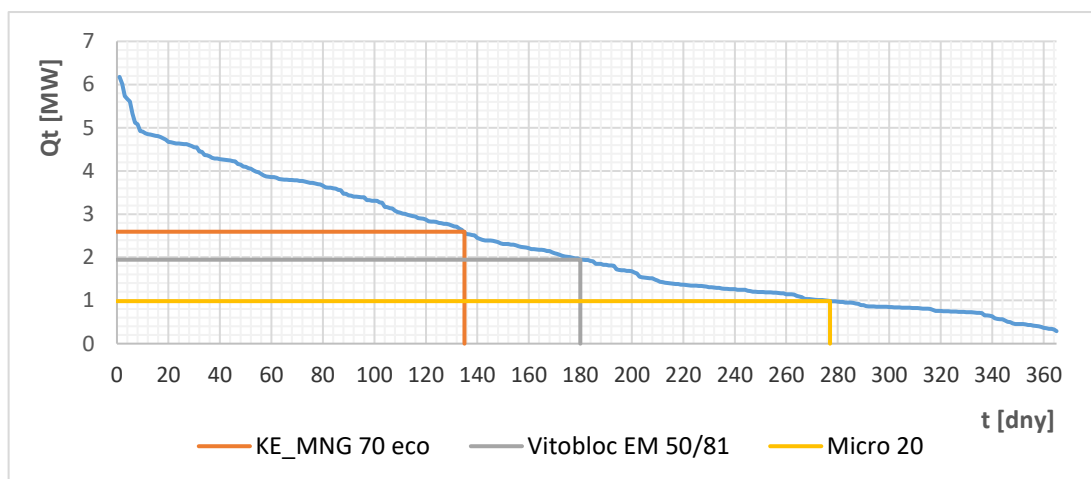


Obr. 3.6. Návrh tří různých typů kogeneračních jednotek v galerii

Tab. 3.6. Celkové vyrobené teplo KJ v galerii

| Výrobce              | Motorgas     | Gentec       | Veissmann         |
|----------------------|--------------|--------------|-------------------|
| Typ                  | MGM 50       | KE_MNG 100   | Vitobloc EM 20/39 |
| Tepelný výkon (kW)   | 78           | 137          | 39                |
| Počet motohodin (h)  | 3 696        | 3 168        | 5 520             |
| Vyrobené teplo (MWh) | <b>309,6</b> | <b>434,0</b> | <b>215,3</b>      |

### 3.1.6. Domov důchodců



Obr. 3.7. Roční diagram trvání spotřeby tepla domova důchodců a návrh tří různých typů kogeneračních jednotek

Tab. 3.7. Celkové vyrobené teplo KJ v domově důchodců

| Výrobce              | Gentec        | Veissmann         | Tedom        |
|----------------------|---------------|-------------------|--------------|
| Typ                  | KE_MNG 70 eco | Vitobloc EM 50/81 | Micro 20     |
| Tepelný výkon (kW)   | 108           | 81                | 41           |
| Počet motohodin (h)  | 3 240         | 4 320             | 6 648        |
| Vyrobené teplo (MWh) | <b>349,9</b>  | <b>349,9</b>      | <b>272,6</b> |

### 3.2. Spotřeba elektrické energie

K dispozici mám hodinové odečty spotřeby všech šesti odběratelů střední velikosti. Z těchto hodnot sestrojím diagram trvání výkonů abych určil, jaké množství elektrické energie spotřebují a kolik ji budu muset prodat do sítě. Množství vyrobené elektrické energie vypočtu dle vzorce:

$$E = P_{KJ} * t_h \quad [kW, h; kWh] \quad (2)$$

kde,

- $P_{KJ}$  je elektrický výkon KJ,
- $t_h$  je počet motohodin KJ,
- $E$  je celková elektrická energie vyrobená KJ,

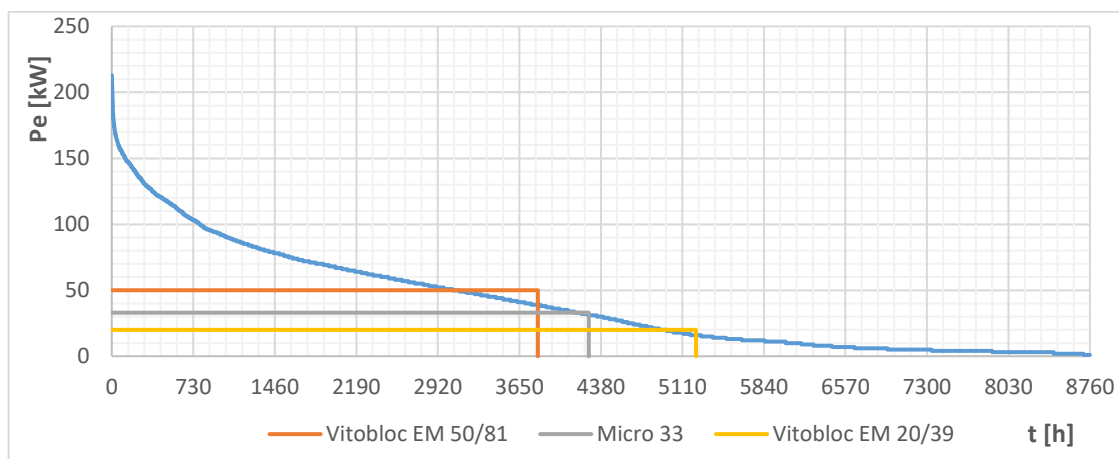
Elektrickou energii, která nepokryje spotřebu objektu a budu jí prodávat do sítě, pak vypočtu:

$$E_{přeb} = ((t_h - t_{min}) * P_{KJ}) - \int_{t_{min}}^{t_h} P_e(t) \cdot dt \quad [kWh; h, kW \cdot kWh] \quad (3)$$

kde,

$E_{přeb}$  je přebytečná elektrická energie, kterou lze prodat do sítě,  
 $t_{min}$  je počet hodin kdy je výkon KJ vyšší než spotřeba el. energie a nachází se v intervalu  $<0; t_h>$ ,  
 $t_h$  je počet motohodin KJ,  
 $P_{KJ}$  je elektrický výkon KJ,  
 $P_e(t)$  znázorňuje křivku trvání výkonů.

### 3.2.1. Střední odborná škola



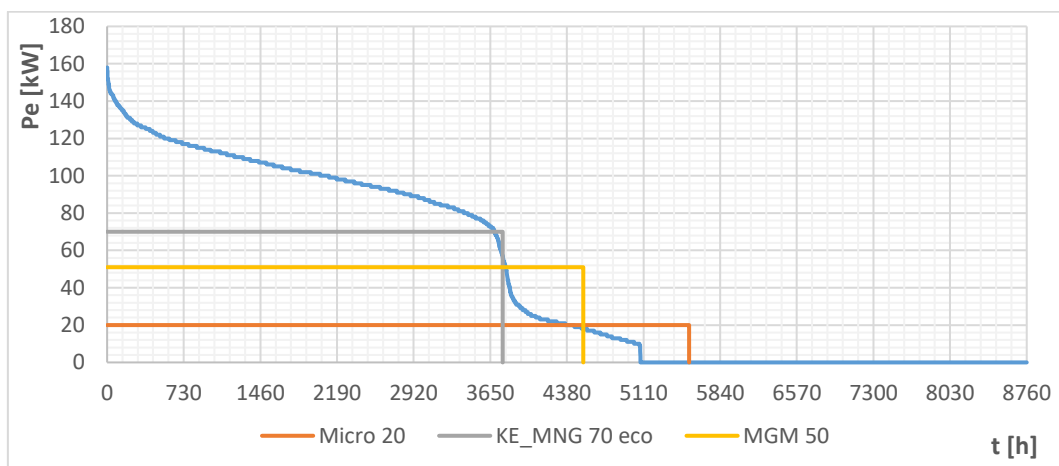
Obr. 3.8. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ ve střední odborné škole

Tab. 3.8. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ ve střední odborné škole

| Výrobce                    | Veissmann         | Tedom    | Veissmann         |
|----------------------------|-------------------|----------|-------------------|
| Typ                        | Vitobloc EM 50/81 | Micro 33 | Vitobloc EM 20/39 |
| Elektrický výkon (kW)      | 50                | 33       | 20                |
| Počet motohodin (h)        | 3 816             | 4 272    | 5 232             |
| Vyrobena el. energie (MWh) | 190,8             | 140,9    | 104,6             |
| Spotřeba el. energie (MWh) | 186,7             | 140,9    | 104,0             |
| Přebytek el. energie (MWh) | 4,1               | 0        | 0,6               |



### 3.2.2. Zimní stadion

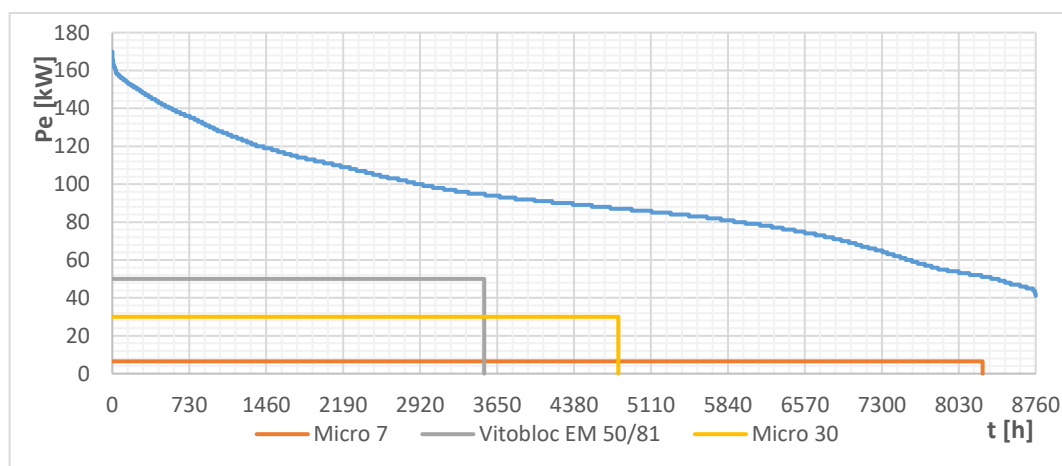


Obr. 3.9. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v zimním stadionu

Tab. 3.9. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v zimním stadionu

| Výrobce                    | Tedom    | Gentec        | Motorgas |
|----------------------------|----------|---------------|----------|
| Typ                        | Micro 20 | KE_MNG 70 eco | MGM 50   |
| Elektrický výkon (kW)      | 20       | 70            | 51       |
| Počet motohodin (h)        | 5 544    | 3 768         | 4 536    |
| Vyrobená el. energie (MWh) | 110,8    | 263,7         | 231,3    |
| Spotřeba el. energie (MWh) | 98,1     | 263,3         | 212,2    |
| Přebytek el. energie (MWh) | 12,7     | 0,4           | 19,1     |

### 3.2.3. Hotel



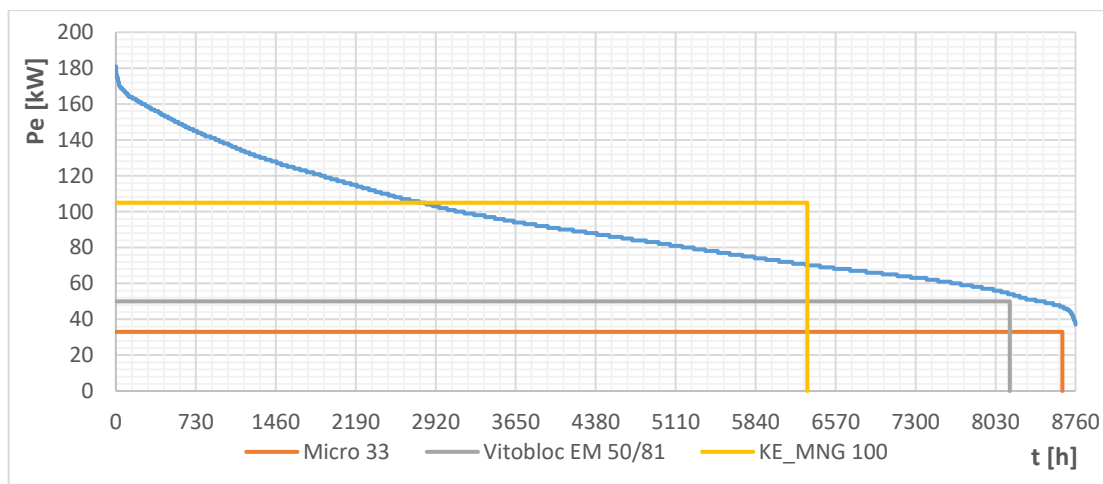
Obr. 3.10. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v hotelu

Tab. 3.10. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v hotelu

| Výrobce               | Tedom   | Veissmann         | Tedom    |
|-----------------------|---------|-------------------|----------|
| Typ                   | Micro 7 | Vitobloc EM 50/81 | Micro 30 |
| Elektrický výkon (kW) | 6,5     | 50                | 30       |

|                            |       |       |       |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| Počet motohodin (h)        | 8 256 | 3 528 | 4 800 |
| Vyrobená el. energie (MWh) | 53,6  | 176,4 | 144,0 |
| Spotřeba el. energie (MWh) | 53,6  | 176,4 | 144,0 |
| Přebytek el. energie (MWh) | 0     | 0     | 0     |

### 3.2.4. Nemocnice

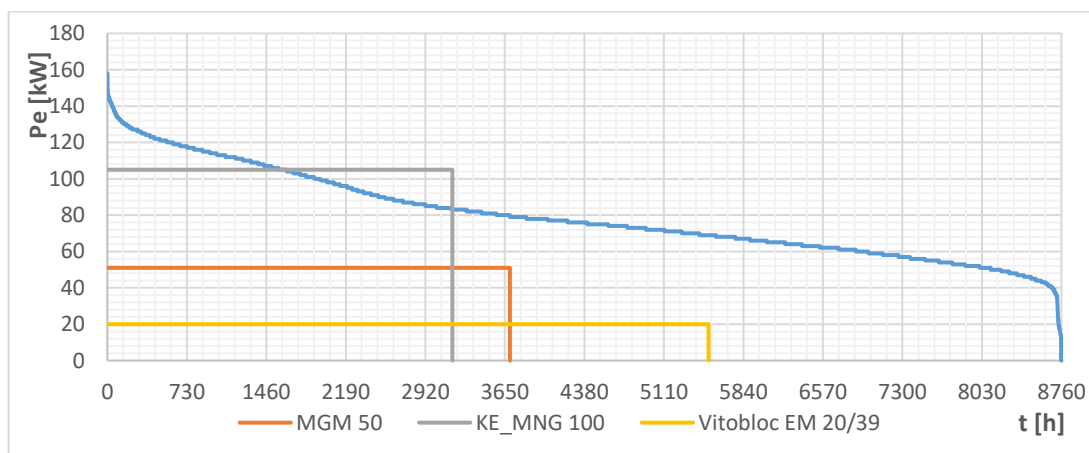


Obr. 3.11. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v nemocnici

Tab. 3.11. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v nemocnici

| Výrobce                    | Tedom    | Veissmann         | Gentec     |
|----------------------------|----------|-------------------|------------|
| Typ                        | Micro 33 | Vitobloc EM 50/81 | KE_MNG 100 |
| Elektrický výkon (kW)      | 33       | 50                | 105        |
| Počet motohodin (h)        | 8 640    | 8 160             | 6 312      |
| Vyrobená el. energie (MWh) | 285,1    | 408,0             | 662,7      |
| Spotřeba el. energie (MWh) | 285,1    | 408,0             | 597,2      |
| Přebytek el. energie (MWh) | 0        | 0                 | 65,5       |

### 3.2.5. Galerie

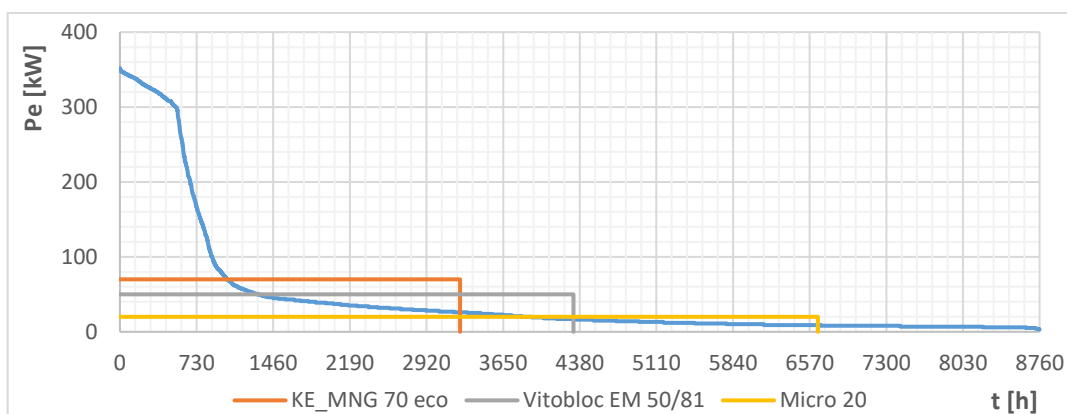


Obr. 3.12. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v galerii

Tab. 3.12. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v galerii

| Výrobce                    | Motorgas | Gentec     | Veissmann         |
|----------------------------|----------|------------|-------------------|
| Typ                        | MGM 50   | KE_MNG 100 | Vitobloc EM 20/39 |
| Elektrický výkon (kW)      | 51       | 105        | 20                |
| Počet motohodin (h)        | 3 696    | 3 168      | 5 520             |
| Vyrobená el. energie (MWh) | 188,5    | 332,6      | 110,4             |
| Spotřeba el. energie (MWh) | 188,5    | 313,8      | 110,4             |
| Přebytek el. energie (MWh) | 0        | 18,8       | 0                 |

### 3.2.6. Domov důchodců



Obr. 3.13. Diagram trvání výkonu se třemi typy návrhu KJ v domově důchodců

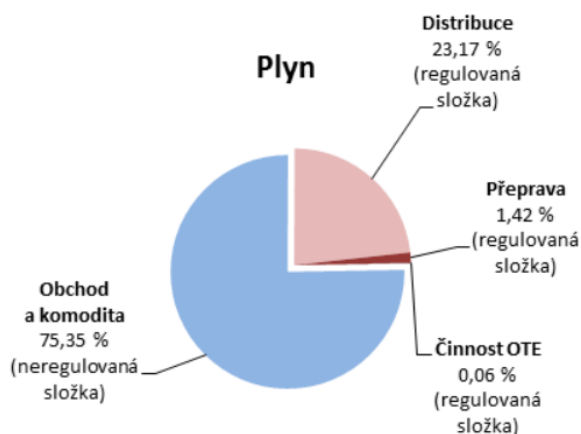
Tab. 3.13. Celková, spotřebovaná a přebytečná el. energie vyrobená KJ v domově důchodců

| Výrobce                    | Gentec        | Veissmann         | Tedom    |
|----------------------------|---------------|-------------------|----------|
| Typ                        | KE_MNG 70 eco | Vitobloc EM 50/81 | Micro 20 |
| Elektrický výkon (kW)      | 70            | 50                | 20       |
| Počet motohodin (h)        | 3 240         | 4 320             | 6 648    |
| Vyrobená el. energie (MWh) | 226,8         | 216,0             | 132,9    |
| Spotřeba el. energie (MWh) | 156,7         | 156,6             | 113,0    |
| Přebytek el. energie (MWh) | 70,1          | 59,4              | 19,9     |

## 4. Porovnání s konvenčními dodávkami elektřiny a tepla

### 4.1. Cena plynu

Cena plynu se skládá z regulované a neregulované složky. Regulovanou složku tvoří distribuce, přeprava a činnost operátora trhu. Neregulovanou složku tvoří plyn jako komodita a marže obchodníka.



Obr. 4.1. Rozdělení ceny zemního plynu

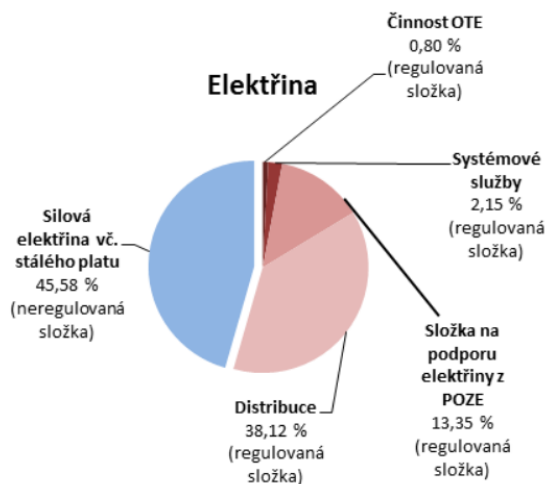
Mnou analyzovaní odběratelé se nacházejí v kategorii střední odběratel (od 630 MWh do 4200 MWh). V této kategorii nenabízí žádný dodavatel tarifní cenu, pouze fixní. Taktéž cena za distribuci se skládá z ceny za distribuovaný plyn, který je uváděn v Kč/MWh a z největší části z ceny za denní rezervovanou distribuční kapacitu, která pro střední a velkoodběratele není fixně stanovena, ale vypočte se podle charakteru odběru. Hlavním parametrem výpočtu je součet denní rezervované pevné a přerušitelné distribuční kapacity. To znamená maximální odběr plynu v roce v m<sup>3</sup>. Pokud ale odběratel využívá plyn výhradně k vytápění, pak se tyto rezervované kapacity počítají na měsíční bázi, aby nepřepočítal za kapacitu, kterou nevyužije. Dále je třeba rozlišit, zda má odběratel nízkotlakou nebo vysokotlakou přípojku. Přesný výpočet regulované složky pro všech šest odběratelů by byl zdoluhavý a je již nad rámec bakalářské práce. Celková cena se tedy bude odvíjet od průměrné ceny plynu na burze k roku 2018. Ta činila 540 Kč/MWh.

Tab. 4.1. Vyúčtování ceny plynu za rok 2018

| Typ odběratele          | SOŠ       | Zimní stadion | Hotel     | Nemocnice | Galerie   | Domov důchodců |
|-------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| Spotřeba plynu (MWh)    | 694       | 782           | 638       | 1 468     | 1 051     | 820            |
| Cena plynu (Kč)         | 374 760   | 422 280       | 344 520   | 792 720   | 567 540   | 442 800        |
| DPH 21% (Kč)            | 78 699,6  | 88 678,8      | 72 349,2  | 166 471,2 | 119 183,4 | 92 988         |
| Celková cena plynu (Kč) | 453 459,6 | 510 958,8     | 416 869,2 | 959 191,2 | 686 723,4 | 535 788        |

## 4.2. Cena elektrické energie

Cena elektrické energie se taktéž jako u plynu skládá z regulované a neregulované složky. V neregulované složce se nachází cena za silovou elektřinu a poplatky za odečty elektroměru apod. V regulované složce najdeme poplatky za činnost operátora trhu a systémové služby. Ale zdaleka největší část této složky tvoří distribuce elektřiny a poplatek na podporu elektřiny z obnovitelných zdrojů.



Obr. 4.2. Rozdělení ceny elektrické energie

Tab. 4.2. Vyúčtování celkové ceny elektrické energie za rok 2018, včetně DPH [7]

| Typ odběratele                                   | SOŠ              | Zimní stadion    | Hotel            | Nemocnice        | Galerie          | Domov důchodců   |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Spotřeba el. energie (MWh)                       | 357,0            | 414              | 807              | 818              | 698              | 401              |
| Spotřeba ve vysokém tarifu (MWh)                 | 135,6            | 159,2            | 324,4            | 360,3            | 283,5            | 78,4             |
| Spotřeba v nízkém tarifu (MWh)                   | 221,4            | 254,8            | 482,6            | 457,7            | 414,5            | 322,6            |
| <b>Celková platba (Kč)</b>                       | <b>1 168 197</b> | <b>1 255 497</b> | <b>2 325 361</b> | <b>2 455 588</b> | <b>2 031 901</b> | <b>1 142 856</b> |
| Z toho platba za silovou elektřinu (Kč)          | 553 244          | 642 865          | 1262 582         | 1 302 635        | 1 094 273        | 567 672          |
| Z toho platba za distribuci (Kč)                 | 360 286          | 402 001          | 782 366          | 860 429          | 685 098          | 272 764          |
| Z toho platba za ostatní regulované položky (Kč) | 242 441          | 196 453          | 252 777          | 264 512          | 228 628          | 285 687          |
| Z toho platba daně z elektřiny (Kč)              | 12 224           | 14 176           | 27 634           | 28 010           | 23 901           | 13 731           |

### 4.3. Úspora primárního paliva při využití kogenerační jednotky

#### 4.3.1. Plyn

Tab. 4.3. Roční úspora plynu s využitím různých typů KJ pro 6 odběratelů střední velikosti

| Typ | Vyrobené teplo (MWh) | Snížená spotřeba (MWh) | Cena plynu před KJ (Kč) | Cena plynu po KJ (Kč) | Úspora (Kč) |
|-----|----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
|-----|----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|

*Střední odborná škola  $Q = 697 \text{ MWh}$*

|                   |       |       |           |           |           |
|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Vitobloc EM 50/81 | 309,1 | 384,9 | 453 459,6 | 251 493,6 | 201 965,9 |
| Micro 33          | 272,1 | 421,9 | 453 459,6 | 275 669,5 | 177 790,1 |
| Vitobloc EM 20/39 | 204,0 | 490   | 453 459,6 | 320 166,0 | 133 293,6 |

*Zimní stadion  $Q = 782 \text{ MWh}$*

|               |       |       |           |           |           |
|---------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Micro 20      | 227,3 | 554,7 | 510 958,8 | 362 440,9 | 148 517,8 |
| KE MNG 70 eco | 406,9 | 375,1 | 510 958,8 | 245 090,3 | 265 868,5 |
| MGM 50        | 353,8 | 428,2 | 510 958,8 | 279 785,8 | 231 172,9 |

*Hotel  $Q = 638 \text{ MWh}$*

|                   |       |       |           |           |           |
|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Micro 7           | 132,1 | 505,9 | 416 869,2 | 330 555,1 | 86 314,1  |
| Vitobloc EM 50/81 | 285,7 | 352,3 | 416 869,2 | 230 192,8 | 186 676,4 |
| Micro 30          | 278,8 | 359,2 | 416 869,2 | 234 701,3 | 182 167,9 |

*Nemocnice  $Q = 1 468 \text{ MWh}$*

|                   |       |     |           |           |           |
|-------------------|-------|-----|-----------|-----------|-----------|
| Micro 33          | 550,0 | 918 | 959 191,2 | 599 821,2 | 359 370,0 |
| Vitobloc EM 50/81 | 660,9 | 807 | 959 191,2 | 527 359,1 | 431 832,1 |
| KE MNG 100        | 864,7 | 603 | 959 191,2 | 394 196,2 | 564 995,0 |

*Galerie  $Q = 1 051 \text{ MWh}$*

|                   |       |     |           |           |           |
|-------------------|-------|-----|-----------|-----------|-----------|
| MGM 50            | 309,6 | 741 | 686 723,4 | 484 430,8 | 202 292,6 |
| KE MNG 100        | 434,0 | 617 | 686 723,4 | 403 147,8 | 283 575,6 |
| Vitobloc EM 20/39 | 215,3 | 836 | 686 723,4 | 546 046,4 | 140 677,0 |

*Domov důchodců  $Q = 820 \text{ MWh}$*

|                   |       |       |           |           |           |
|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| KE MNG 70 eco     | 349,9 | 470,1 | 535 788,0 | 307 163,3 | 228 624,7 |
| Vitobloc EM 50/81 | 349,9 | 470,1 | 535 788,0 | 307 163,3 | 228 624,7 |
| Micro 20          | 272,6 | 547,4 | 535 788,0 | 357 671,2 | 178 116,8 |

### 4.3.2. Elektrická energie

Tab. 4.4. Roční úspora elektrické energie s využitím různých typů KJ pro 6 odběratelů střední velikosti [7]

| Typ | Vyrobená el. energie (MWh) | Z toho spotřeba el. energie (MWh) | Snížená spotřeba (MWh) | Cena elektřiny před KJ (Kč) | Cena elektřiny po KJ (Kč) | Úspora (Kč) |
|-----|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|
|-----|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|

#### *Střední odborná škola E = 357 MWh*

|                   |       |       |       |             |           |           |
|-------------------|-------|-------|-------|-------------|-----------|-----------|
| Vitobloc EM 50/81 | 190,8 | 186,7 | 170,3 | 1 168 197,0 | 523 726,5 | 644 470,5 |
| Micro 33          | 140,9 | 140,9 | 216,1 | 1 168 197,0 | 684 374,9 | 483 822,1 |
| Vitobloc EM 20/39 | 104,6 | 104   | 253,0 | 1 168 197,0 | 813 805,7 | 354 391,3 |

#### *Zimní stadion E = 414 MWh*

|               |       |       |       |             |           |           |
|---------------|-------|-------|-------|-------------|-----------|-----------|
| Micro 20      | 110,8 | 98,1  | 315,9 | 1 255 497,0 | 970 108,7 | 285 388,3 |
| KE MNG 70 eco | 263,7 | 263,3 | 150,7 | 1 255 497,0 | 430 372,1 | 825 124,9 |
| MGM 50        | 231,3 | 212,2 | 201,8 | 1 255 497,0 | 609 610,8 | 645 886,2 |

#### *Hotel E = 807 MWh*

|                   |       |       |       |             |             |           |
|-------------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-----------|
| Micro 7           | 53,6  | 53,6  | 753,4 | 2 325 361,0 | 2 169 794,4 | 155 566,6 |
| Vitobloc EM 50/81 | 176,4 | 176,4 | 630,6 | 2 325 361,0 | 1 812 611,1 | 512 749,9 |
| Micro 30          | 144,0 | 144,0 | 663,0 | 2 325 361,0 | 1 906 851,6 | 418 509,4 |

#### *Nemocnice E = 818 MWh*

|                   |       |       |       |             |             |           |
|-------------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-----------|
| Micro 33          | 285,1 | 285,1 | 532,9 | 2 455 588,0 | 1 626 813,1 | 828 774,9 |
| Vitobloc EM 50/81 | 408,0 | 408,0 | 410,0 | 2 455 588,0 | 1 269 339,0 | 1 186 249 |
| KE MNG 100        | 662,7 | 597,2 | 220,8 | 2 455 588,0 | 679 651,9   | 1 775 936 |

#### *Galerie E = 698 MWh*

|                   |       |       |       |             |             |           |
|-------------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-----------|
| MGM 50            | 188,5 | 188,5 | 509,5 | 2 031 901,0 | 1 484 135,8 | 547 765,2 |
| KE MNG 100        | 332,6 | 313,8 | 384,2 | 2 031 901,0 | 1 119 680,9 | 912 220,1 |
| Vitobloc EM 20/39 | 110,4 | 110,4 | 587,6 | 2 031 901,0 | 1 711 302,0 | 320 599,0 |

#### *Domov důchodců E = 401 MWh*

|                   |       |       |       |             |           |           |
|-------------------|-------|-------|-------|-------------|-----------|-----------|
| KE MNG 70 eco     | 226,8 | 156,7 | 244,3 | 1 142 856,0 | 592 639,2 | 550 216,8 |
| Vitobloc EM 50/81 | 216,0 | 156,6 | 244,4 | 1 142 856,0 | 592 989,9 | 549 866,1 |
| Micro 20          | 132,9 | 113,0 | 288,0 | 1 142 856,0 | 745 921,7 | 396 934,3 |

#### 4.3.2.1. Zelený bonus

Roční zelený bonus na elektřinu z KVET se skládá ze dvou sazeb – základní a doplňkové. Výše celkové podpory na elektřinu z KVET se pak vypočte:

$$C_{zb} = E_{kvet} * (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl.I}) \left[ K\check{c}; MWh, \frac{K\check{c}}{MWh} \right] \quad (4)$$

kde

|                   |  |
|-------------------|--|
| $C_{zb}$          | celková výše podpory na elektřinu z KVET,          |
| $E_{kvet}$        | množství elektřiny z KVET,                         |
| $ZB_{zakl.sazba}$ | základní sazba zeleného bonusu,                    |
| $ZB_{dopl.I}$     | doplňková sazba I k základní sazbě zeleného bonusu |

Tab. 4.5. Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny s celkovým výkonem kogeneračních jednotek do 5MWe včetně [5]

| ř./sl. | Podporovaný druh energie  | Datum uvedení výroby do provozu |             | Instalovaný výkon výroby [kW] |             | Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok] | Zelené bonusy [Kč/MWh] |
|--------|---|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|--|------------------------|
|        |   | od (včetně)                     | do (včetně) | od                            | do (včetně) |  |                        |
| a      |   | b                               | c           | f                             | g           | k  | m                      |
| 700    | Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad | -                               | 31.12.2018  | 0                             | 200         | 3 000  | 1 283                  |
| 701    |   | -                               | 31.12.2018  | 0                             | 200         | 4 400  | 864                    |
| 703    |   | -                               | 31.12.2018  | 200                           | 1 000       | 3 000  | 915                    |
| 704    |   | -                               | 31.12.2018  | 200                           | 1 000       | 4 400  | 549                    |
| 706    |   | -                               | 31.12.2018  | 1 000                         | 5 000       | 3 000  | 626                    |
| 707    |   | -                               | 31.12.2018  | 1 000                         | 5 000       | 4 400  | 318                    |
| 709    | Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad                               | -                               | 31.12.2015  | 0                             | 5 000       | 8 400  | 45                     |

Tab. 4.6. Doplnková sazba I k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET [5]

| ř./sl. | Podporovaný druh energie   | Datum uvedení výroby do provozu |             | Instalovaný výkon výroby [kW] |             | Kategorie biomasy a proces využití | Zelené bonusy [Kč/MWh] |
|--------|--|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------|
|        |  | od (včetně)                     | do (včetně) | od                            | do (včetně) |                                    |                        |
| a      |  | b                               | c           | f                             | g           | k                                  | m                      |
| 770    | Výroba elektřiny spalující čistou biomasu  | 1.1.2013                        | 31.12.2013  | 0                             | 5 000       | O                                  | 100                    |
| 772    | Výroba elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy   | 1.1.2013                        | 31.12.2015  | 0                             | 2 500       | O                                  | 455                    |
| 774    | Výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici  | 1.1.2013                        | 31.12.2013  | 0                             | 2 500       | AF                                 | 455                    |
| 777    | Výroba elektřiny spalující dřevní plyn   | 1.1.2013                        | 31.12.2015  | 0                             | 5 000       | -                                  | 455                    |
| 778    | Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie | -                               | 31.12.2012  | 0                             | 5 000       | -                                  | 155                    |
| 779    | Výroba elektřiny spalující (samostatně) plynné palivo s výjimkou OZE a DZ  | -                               | 31.12.2018  | 0                             | 5 000       | -                                  | 455                    |

#### 4.4. Ekonomické zhodnocení

V celkovém zhodnocení sečtu úspory primárních energií tj, plynu a elektřiny a od toho odečtu náklady za palivo pro kogenerační jednotku. Nakonec k tomu připočtu zelený bonus a výnosy z prodeje elektrické energie, kterou jsem nespotřeboval.

Zvolil jsem podporu pomocí zelených bonusů oproti výkupních cen, jelikož většina elektrické energie slouží k vlastní spotřebě. Nevýhodou této podpory je, že provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy nemá povinnost tuto elektrickou energii odkoupit. Provozovatel kogenerační jednotky si tedy musí najít odběratele sám a sám si i stanovuje výši ceny za takto vyrobenou elektrickou energii. Pro naše výpočty jsem zvolil průměrnou jednotkovou cenu elektrické energie na burze, což je 500 Kč/MWh. Výše zeleného bonusu se počítá dle vzorce (4).



Tab. 4.7. Celková roční úspora s využitím různých typů KJ pro 6 odběratelů střední velikosti

| Typ                          | Úspora plynu (Kč) | Úspora elektřiny (Kč) | Cena paliva pro KJ (Kč) | Prodej el. energie (Kč) | Zelený bonus (Kč) | Celková úspora (Kč) |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| <i>Střední odborná škola</i> |                   |                       |                         |                         |                   |                     |
| Vitobloc EM 50/81            | 201 965,9         | 644 470,5             | -298 792,8              | 2 050,0                 | 260 700           | 810 393,6           |
| Micro 33                     | 177 790,1         | 483 822,1             | -234 148,3              | 0,0                     | 172 062           | 599 525,9           |
| Vitobloc EM 20/39            | 133 293,6         | 354 391,3             | -175 167,3              | 300,0                   | 116 072           | 428 889,5           |
| <i>Zimní stadion</i>         |                   |                       |                         |                         |                   |                     |
| Micro 20                     | 148 517,8         | 285 388,3             | -193 097,5              | 6 350,0                 | 116 072,0         | 363 230,6           |
| KE MNG 70 eco                | 265 868,4         | 825 124,9             | -410 199,5              | 200,0                   | 364 980,0         | 1 045 973,8         |
| MGM 50                       | 231 172,9         | 645 886,2             | -362 517,1              | 9 550,0                 | 295 983,6         | 820 075,6           |
| <i>Hotel</i>                 |                   |                       |                         |                         |                   |                     |
| Micro 7                      | 86 314,1          | 155 566,6             | -107 443,5              | 0,0                     | 37 723,4          | 172 160,5           |
| Vitobloc EM 50/81            | 186 676,3         | 512 749,9             | -276 242,4              | 0,0                     | 260 700,0         | 683 883,8           |
| Micro 30                     | 182 167,9         | 418 509,4             | -239 500,8              | 0,0                     | 174 108,0         | 535 284,5           |
| <i>Nemocnice</i>             |                   |                       |                         |                         |                   |                     |
| Micro 33                     | 359 370,0         | 828 774,9             | -473 558,4              | 0,0                     | 138 600,0         | 853 186,5           |
| Vitobloc EM 50/81            | 431 832,0         | 1 186 249,0           | -638 928,0              | 0,0                     | 290 180,0         | 1 269 333,1         |
| KE MNG 100                   | 564 994,9         | 1 775 936,1           | -978 233,7              | 32 750,0                | 609 378,0         | 2 004 825,3         |
| <i>Galerie</i>               |                   |                       |                         |                         |                   |                     |
| MGM 50                       | 202 292,6         | 547 765,2             | -295 384,3              | 0,0                     | 265 914,0         | 720 587,5           |
| KE MNG 100                   | 283 575,6         | 912 220,1             | -490 976,6              | 9 400,0                 | 547 470,0         | 1 261 689,1         |
| Vitobloc EM 20/39            | 140 677,0         | 320 599,0             | -184 809,6              | 0,0                     | 116 072,0         | 392 538,4           |
| <i>Domov důchodců</i>        |                   |                       |                         |                         |                   |                     |
| KE MNG 70 eco                | 228 624,6         | 550 216,8             | -352 719,3              | 35 050,0                | 364 980,0         | 826 152,1           |
| Vitobloc EM 50/81            | 228 624,6         | 549 866,1             | -338 256,0              | 29 700,0                | 260 700,0         | 730 634,7           |
| Micro 20                     | 178 116,8         | 396 934,3             | -231 549,8              | 9 950,0                 | 116 072,0         | 469 523,3           |

V tabulce č. 4.7 vidíte celkovou roční úsporu v korunách. Z tabulky také lze vidět, že úspora na vyrobeném tepelném výkonu z větší části pokryje příkon v palivu pro kogenerační jednotku a největší úsporu lze získat ve výrobě elektrické energie. V následující tabulce vypočtu prostou dobu návratnosti, která vyjadřuje dobu (počet roků) za kterou se vrátí počáteční investice. Zpravidla by tato doba měla být menší než doba životnosti zařízení, jinak je investice nevýhodná.

$$T_N = \frac{IN}{CF * (1 - inflace)} \quad \left[ rok; K\check{c}, \frac{K\check{c}}{rok} \right] \quad (5)$$

kde,

$T_N$  je doba návratnosti investice,

$IN$  jsou celkové náklady na investici v Kč,

$CF$  je celková roční úspora primárního paliva,

$inflace$  průměrná míra inflace dle Českého statistického úřadu pro rok 2018 činila 2,1 %.

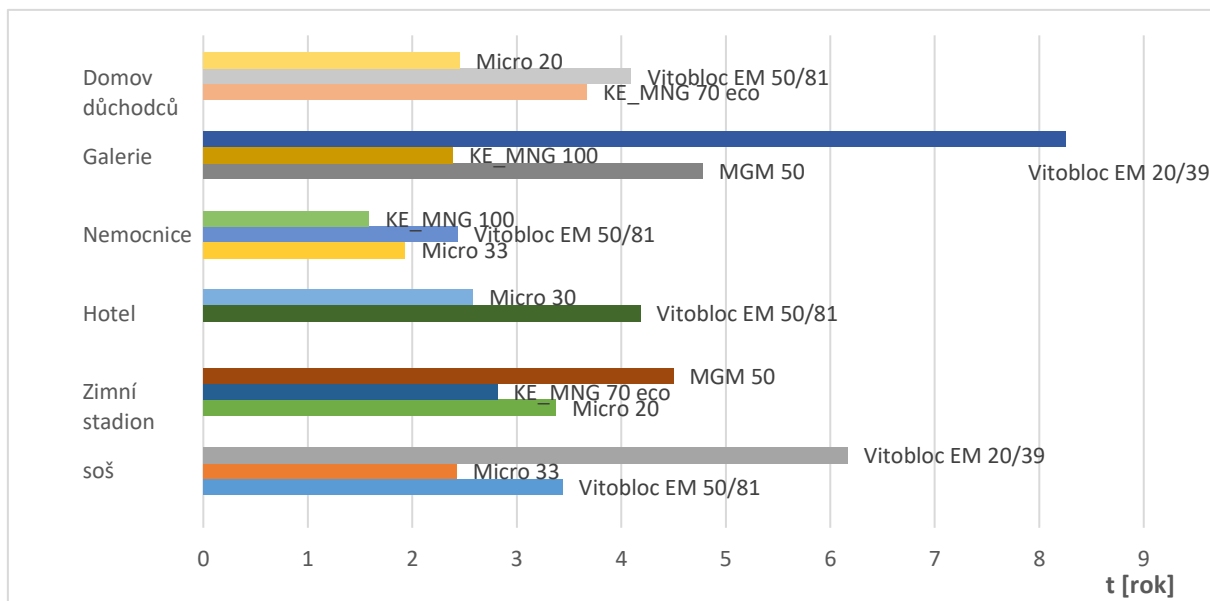
Také musím do celkových investic započítat náklady za servis a údržbu kogenerační jednotky. Ta se provádí na základě servisní smlouvy uzavřené mezi objednatelem a prodávající firmou, kde se vymezí rozsah prací a cena. Do servisních prací patří například výměna mazacího oleje, kontrola nebo případná výměna vzduchových či plynových filtrů apod. Cena za servisní náklady se uvádí v Kč na jednu motohodinu stroje. Níže jsou uvedené průměrné ceny za servisní práce od společností uvedených v této práci (cena bez DPH):

- Tedom - 25,436 Kč/motohodina
- Gentec - 57,2 Kč/motohodina
- Viessmann - 37 Kč/motohodina
- Motorgas - 73,65 Kč/motohodina

Do počátečních investic nezapočítávám náklady za stavební úpravy.

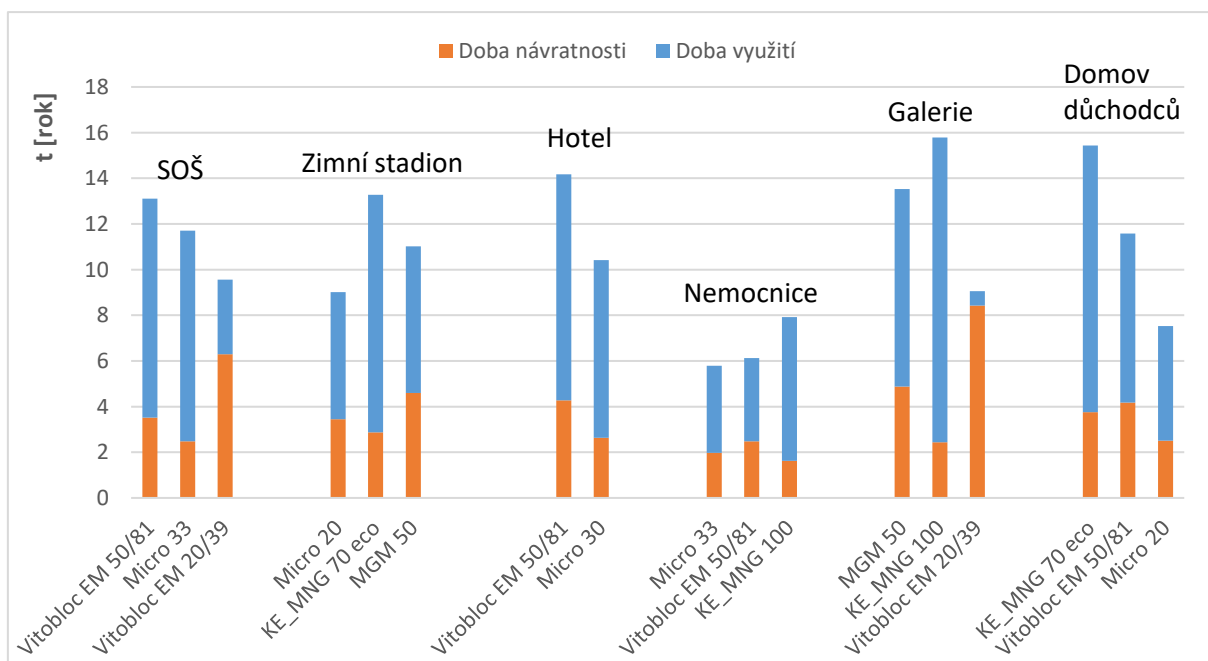
Tab. 4.8. Výpočet prosté doby návratnosti investice různých typů KJ u 6 odběratelů střední velikosti

| Typ                          | Počáteční investice (Kč) | Roční úspora (Kč/rok) | Servisní náklady (Kč/rok) | Prostá doba návratnosti (rok) | Doba životnosti jednotky (rok) |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <i>Střední odborná škola</i> |                          |                       |                           |                               |                                |
| Vitobloc EM 50/81            | 2 200 000,0              | 810 393,6             | 170 824,3                 | 3,52                          | 13,10                          |
| Micro 33                     | 1 135 200,0              | 599 525,9             | 131 481,7                 | 2,48                          | 11,71                          |
| Vitobloc EM 20/39            | 1 200 000,0              | 428 889,5             | 234 236,6                 | 6,30                          | 9,56                           |
| <i>Zimní stadion</i>         |                          |                       |                           |                               |                                |
| Micro 20                     | 650 000,0                | 363 230,6             | 170 630,8                 | 3,45                          | 9,02                           |
| KE MNG 70 eco                | 2 210 000,0              | 1 045 973,8           | 260 790,8                 | 2,88                          | 13,27                          |
| MGM 50                       | 1 870 555,0              | 820 075,6             | 404 232,4                 | 4,59                          | 11,02                          |
| <i>Hotel</i>                 |                          |                       |                           |                               |                                |
| Micro 7                      | 400 000,0                | 172 160,5             | 254 099,5                 | (-4,9) nevratná investice     | 6,06                           |
| Vitobloc EM 50/81            | 2 200 000,0              | 683 883,8             | 157 948,5                 | 4,27                          | 14,17                          |
| Micro 30                     | 1 000 000,0              | 535 284,5             | 147 732,2                 | 2,64                          | 10,42                          |
| <i>Nemocnice</i>             |                          |                       |                           |                               |                                |
| Micro 33                     | 1 135 200,0              | 853 186,5             | 265 918,1                 | 1,97                          | 5,79                           |
| Vitobloc EM 50/81            | 2 200 000,0              | 1 269 333,0           | 365 323,2                 | 2,49                          | 6,13                           |
| KE MNG 100                   | 2 490 000,0              | 2 004 825,3           | 436 866,1                 | 1,62                          | 7,91                           |
| <i>Galerie</i>               |                          |                       |                           |                               |                                |
| MGM 50                       | 1 870 555,0              | 720 587,5             | 329 374,5                 | 4,88                          | 13,53                          |
| KE MNG 100                   | 2 490 000,0              | 1 261 689,0           | 219 263,6                 | 2,44                          | 15,78                          |
| Vitobloc EM 20/39            | 1 200 000,0              | 392 538,4             | 247 130,4                 | 8,43                          | 9,06                           |
| <i>Domov důchodců</i>        |                          |                       |                           |                               |                                |
| KE MNG 70 eco                | 2 210 000                | 826 152,1             | 224 246,8                 | 3,75                          | 15,43                          |
| Vitobloc EM 50/81            | 2 200 000                | 730 634,7             | 193 406,4                 | 4,18                          | 11,57                          |
| Micro 20                     | 650 000                  | 469 523,3             | 204 609,2                 | 2,51                          | 7,52                           |



Obr. 4.4. Grafické znázornění prosté doby návratnosti investice různých typů KJ u 6 odběratelů střední velikosti

Nejkratší dobu návratnosti je při aplikaci kogenerační jednotky v nemocnici, což je hlavně způsobeno tím, že má velký, a hlavně stálý odběr tepla a elektrické energie. Dovoluje to aplikovat KJ s vyšším výkonem a delšími provozními hodinami. U jednotky micro 7 od společnosti Tedom aplikované v hotelu má doba návratnosti investice dokonce zápornou hodnotu. To znamená, že náklady na údržbu a servis jednotky převyšují úspory vzniklé jejím provozem. Tuto jednotku tedy nemá smysl provozovat. Z grafu č. 4.3. si lze všimnout, že doba návratnosti značně klesá při vyšší potřebě energií, a tedy nasazení kogeneračních jednotek vyšších výkonů. Obecně platí, že mnohem výhodnější je provozovat kogenerační jednotky v oblasti středních výkonů. V oblasti malých výkonů se doba návratnosti přibližuje maximální životnosti jednotky.



Obr. 4.3. Grafické rozdělení doby životnosti na dobu návratnosti investice a dobu využití kogenerační jednotky

V grafu č. 4.4. můžete porovnat dobu návratnosti a dobu využití. Doba využití je doba mezi uplynutím návratu počáteční investice a maximální životnosti jednotky. Pokud dodržíme pravidelný servis kogenerační jednotky, tak nelze stanovit jednotnou dobu životnosti. Zde za maximální dobu životnosti uvažuju počet motohodin, po kterých je třeba provést generální opravu motoru, což vyžaduje větší investice, ten je 50 000 motohodin. Nejkratší dobu využití má objekt nemocnice a zároveň nejkratší dobu návratnosti. Objekt nemocnice má ze všech analyzovaných odběratelů nejideálnější charakteristiku spotřeby tepla a elektrické energie, to dovoluje aplikovat jednotky vyšších výkonů a dosáhnout tak vyšších úspor. To se projeví na krátké době návratnosti. Velkou nevýhodou však je, že tyto jednotky využíváme po celý rok, přes 8 000 motohodin ročně, roční zelený bonus u této jednotky můžeme však uplatnit jen pro prvních 4400 hodin. Nejvíce se tedy oplatí kogenerační jednotky vyšších výkonů s kratšími provozními hodinami. Jednotky malých výkonů, mají dlouhou dobu návratnosti investice, která se přibližuje maximální životnosti. Závěrem lze říci že je výhodnější nasazovat kogenerační jednotky u větších odběratelů a zároveň investovat do dražších a výkonnějších jednotek než do méně výkonných pracujících po celý rok.

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést průzkum trhu a z analyzovat vhodnost využití kogeneračních jednotek u vybraných odběratelů střední velikosti.

První kapitola tvoří úvod do kombinované výroby elektrické energie a tepla, její princip a využití. Dále obsahuje rozdělení kogeneračních technologií podle pohonných jednotek, základní popis a výhody či nevýhody použité technologie.

Druhá kapitola se zabývá průzkumem dostupných jednotek na trhu. Jsou zde zastoupeny firmy jako je třeba Viessmann, Tedom, Motorgas, Gentec a jejich produktové řady v oblasti středních výkonů. Parametry jednotlivých kogeneračních jednotek jsou seřazeny v tabulkách pro snadné porovnání.

V třetí kapitole je pomocí přepočtených měsíčních hodnot na denní sestrojen roční diagram trvání spotřeby tepla a pro každého odběratele zvolené 3 kogenerační jednotky s různým výkonem a provozními hodinami. Obdobně je to u analýzy spotřeby elektrické energie. Zde je pro zjednodušení použit také diagram trvání spotřeby elektrické energie. Pro hlubší analýzu lze využít typické denní průběhy v různých ročních obdobích, svátků, víkendů, pracovní dnů apod. Další variantou hlubší analýzy je uvažovat chod kogenerační jednotky pouze ve vysokém tarifu s akumulací nádrží po pokrytí tepla v době nízkého tarifu. Návrh kogenerační jednotky probíhá v závislosti na spotřebu tepla. V návrhu naleznete kogenerační jednotky se zážehovým motorem při spalování zemního plynu, bez uvažování jednotek s palivovými články a se stirlingovým motorem, neboť dostupné jednotky na trhu jsou v rozsahu malých výkonů.

Poslední kapitola je věnována porovnání konvenčních dodávek s použitím kogenerační jednotky. Jako nejvýhodnější se jeví pořízení jednotky KE MNG 100 od firmy Motorgas, tato jednotka, ačkoliv má největší počáteční investici má nejkratší dobu návratnosti a dlouhou dobu využití, ze které potom lze profitovat, naopak nejhůře dopadla jednotka Micro 7 od firmy Tedom u které se počáteční investice nevrátí nikdy, hned za ní je Vitobloc 200 EM-20/39 od firmy Viessmann, kde je doba návratnosti velice blízko době životnosti jednotky. Přínosem této práce je poukázat na fakt, že ačkoliv je snaha podporovat KVET formou zelených bonusů je tu stále propastný rozdíl mezi jednotkami v oblasti středních výkonů a jednotkami v oblasti malých výkonů.

## Použitá literatura

- [1] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky - zřizování a provoz. Praha: Gas, 2007. GAS, 46. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [2] Viessmann uvedl na trh malou kogeneraci pro bytové a větší rodinné domy, *tzbinfo* [online]. 2012 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/8581-viessmann-uvedl-na-trh-malou-kogeneraci-pro-bytove-a-vetsi-rodinne-domy>
- [3] O kogeneraci, *ČEZ Energo* [online]. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci.html>
- [4] ŽIDEK, Jiří. *Palivové články pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/78723>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [5] Cenové rozhodnutí č. 8/2017 a Cenové rozhodnutí č. 9/2017, *ERÚ* [online]. 2017 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/-/cenove-rozhodnuti-c-8-2017-a-cenove-rozhodnuti-c-9-2017>
- [6] *OTE statistika* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika>
- [7] Cenový kalkulátor, *ERÚ* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://kalkulator.eru.cz>
- [8] Jan Budín, *oenergetice* [online]. 2015 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>
- [9] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-118-7.
- [10] Kogenerace, *Ekowatt* [online]. [cit. 2019-01-5]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [11] Kogenerace Vitobloc 200, typ EM-50/50, *Viessmann* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/komerční-provozy/kogenerace/kogenerační-jednotky/vitobloc-200-em-50-81.html>
- [12] Kogenerace Vitobloc 200, typ EM-70/115, *Viessmann* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/komerční-provozy/kogenerace/kogenerační-jednotky/vitobloc-200-em-70-115.html>

- [13] Kogenerace Vitobloc 200, typ EM-140/207, *Viessmann* [online]. [cit. 2019-03-07].  
Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/prumysl/kogeneracni-jednotky/kogeneracni-jednotky/vitobloc-200-em140207.html>
- [14] Kogenerace Vitobloc 200, typ EM-199/263, *Viessmann* [online]. [cit. 2019-03-07].  
Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/komerční-provozy/kogenerace/kogeneracni-jednotky/vitobloc-200-em-199-263.html>
- [15] Vitovalor 300 P, *Kamnářství Pešek* [online]. [cit. 2019-04-19].  
Dostupné z: <http://www.vytapime.eu/vitovalor-300-p>
- [16] MAN Kogenerační jednotky kogenerace trigenerace plynové motory dieselaagregáty, *MOTORGAS* [online]. [cit. 2019-04-2019] Dostupné z:  
<http://www.motorgas.cz/cz/vyrobky/kogeneracni-jednotky/man-motory/>
- [17] Zemní plyn – Kogenerační jednotky, *TEDOM* [online]. [cit. 2019-04-19].  
Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/zemni-plyn>
- [18] Kogenerační jednotky, *Gentec* [online]. [cit. 2019-04-19].  
Dostupné z: <http://www.gentec.cz/kogeneracni-jednotky>
- [19] Kogenerace Vitobloc 200, typ EM-20/39, *Viessmann* [online]. [cit. 2019-03-07].  
Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/komerční-provozy/kogenerace/kogeneracni-jednotky/vitobloc-200-em-20-39.html>